

SKRIPSI

**STUDI EKSTRAKSI TEMBAGA DARI BIJIH OKSIDA DENGAN
MENGUNAKAN PELARUT ASAM KLORIDA**

Disusun dan diajukan oleh:

**MANJARIA PUTRI PERDANA
D111 20 1056**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI EKSTRAKSI TEMBAGA DARI BIJIH OKSIDA DENGAN MENGUNAKAN PELARUT ASAM KLORIDA

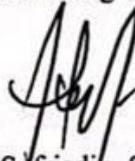
Disusun dan diajukan oleh

Manjaria putri Perdana
D111 20 1056

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 23 Agustus 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Ir. Sufriadin, S.T., M.T.
NIP. 19660817200012010001

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Aryanti-Virtanti Anas, S.T., M.T.
NIP. 197010052008012026



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Manjaria Putri Perdana
NIM : D111201056
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Studi Ekstraksi Tembaga dari Bijih Oksida dengan Menggunakan Pelarut Asam Klorida}

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, 23 Agustus 2024

Yang Menyatakan



Manjaria Putri Perdana



ABSTRAK

MANJARIA PUTRI PERDANA. *Studi Ekstraksi Tembaga Dari Bijih Oksida Dengan Menggunakan Pelarut Asam Klorida* (dibimbing oleh Sufriadin)

Bijih tembaga oksida merupakan bijih tembaga yang memiliki jumlah cadangan sedikit dengan kadar tembaganya relatif tinggi. Tembaga oksida dapat diolah dengan biaya yang lebih hemat dengan cara hidrometalurgi. Tembaga oksida diproses dengan cara hidrometalurgi karena potensi yang besar untuk memproses bijih yang kompleks dan berkadar rendah dengan dampak lingkungan yang lebih kecil yang meliputi pelindian dan ekstraksi pelarut. Pelarut dalam proses ekstraksi biasa menggunakan pelarut asam kuat seperti H_2SO_4 , HCl, HNO_3 . Dalam beberapa pengujian menggunakan asam kuat hasilnya menunjukkan bahwa larutan asam klorida memiliki kecenderungan mengekstraksi Cu lebih besar dibanding larutan asam sulfat dan asam nitrat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik mineralogi bijih tembaga oksida dan menganalisis pengaruh waktu serta konsentrasi HCl dari proses pelindian. Karakterisasi bijih dilakukan dengan metode mikroskopi dan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk analisis mineralogi, serta metode *Atomic Absorption Spectrofotometry* (AAS) untuk analisis kadar tembaga. Ekstraksi tembaga dari bijih oksida menggunakan HCl pada tekanan atmosfer. Hasil analisis XRD dan mikroskop menunjukkan bahwa mineral yang terdapat pada bijih tembaga oksida terdiri dari beberapa mineral pembawa tembaga seperti malasit, pseudomalasit, dan langit serta mineral pengotor yang meliputi kuarsa, kaolinit, kamosit, maghemit, dan goetit. Berdasarkan hasil percobaan pelindian bijih tembaga dengan asam klorida diperoleh tingkat pelindian tertinggi yakni pada konsentrasi pelarut 6 M dengan waktu pelindian 1 jam yaitu sebesar 95,06 %.

Kata kunci: Asam klorida, bijih oksida, pelindian, tembaga.



ABSTRACT

MANJARIA PUTRI PERDANA. *Study of Copper Extraction from Oxide Ore Using Hydrochloric Acid (supervised by Sufriadin).*

Copper oxide ore is a copper ore that has small reserves with relatively high copper content. Copper oxide can be processed more cost-effectively by hydrometallurgy. Copper oxide is processed by hydrometallurgy due to its great potential for processing complex, low-grade ores with less environmental impact including leaching and solvent extraction. The solvent in the extraction process usually uses strong acid solvents such as H₂SO₄, HCl, HNO₃. In several tests using strong acids, the results showed that hydrochloric acid solutions had a greater tendency to extract Cu than sulfuric and nitric acid solutions. This research aims to determine the mineralogical characteristics of copper oxide ore and analyze the influence of time and HCl concentration from the leaching process. Ore characterization was carried out using microscopy and X-Ray Diffraction (XRD) methods for mineralogical analysis, as well as the Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) method for copper content analysis. Extraction of copper from oxide ore using HCl at atmospheric pressure. The results of XRD and microscope analysis show that the minerals found in copper oxide ore consist of several copper-bearing minerals such as Malasite, pseudomalacite, and Langit as well as impurity minerals including quartz, kaolinite, chamsite, maghemite, and goethite. Based on the results of experiments on leaching copper ore with hydrochloric acid, the highest leaching level was obtained, namely at a solvent concentration of 6 M with a leaching time of 1 hour, namely 95.06%.

Keywords: Hydrochloric acid, oxide ore, leaching, copper.



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
KATA PENGANTAR	x
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 Penelitian.....	3
1.6 Tahapan Kegiatan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Tembaga.....	6
2.2 Tembaga Oksida	8
2.3 Teknologi Pengolahan Tembaga.....	10
2.4 Pelindian Menggunakan Asam Klorida	15
BAB 3 METODE PENELITIAN/PERANCANGAN	19
3.1 Lokasi Penelitian.....	19
3.2 Variabel Penelitian.....	19
3.3 Bahan Uji dan Alat.....	20
3.4 Teknik Pengumpulan Data.....	23
3.5 Teknik Analisis	32
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1 Karakteristik Bijih Tembaga Oksida.....	36
4.2 Analisis XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	38
4.3 Analisis AAS (<i>Atomic Absorption Spectrometry</i>)	41
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA	49



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. <i>Reverberatory Furnace</i>	11
Gambar 2. <i>Diagram Eh-pH sistem Cu-Fe-S-OH₂O pada 25°C. [Cu] 0,01 M, [Fe] = [S] = 0,1 M</i>	14
Gambar 3. Lokasi penelitian	19
Gambar 4. Sampel sayatan poles	24
Gambar 5. Sampel bubuk.....	24
Gambar 6. Proses mereduksi ukuran sampel menggunakan <i>jaw crusher</i>	25
Gambar 7. Proses mereduksi sampel menggunakan <i>agate mortar</i>	25
Gambar 8. Proses pengayakan sampel.....	26
Gambar 9. Proses penimbangan sampel.....	26
Gambar 10. Proses pengenceran	27
Gambar 11. Proses persiapan percobaan pelindian.....	29
Gambar 12. Proses pelindian sampel bijih tembaga oksida.....	30
Gambar 13. Proses penyaringan larutan hasil pelindian	31
Gambar 14. Pregnant solution hasil pelindian	32
Gambar 15. Analisis menggunakan mikroskop Nikon Eclipse LV-100 POL.....	33
Gambar 16. XRD tipe shimadzu maxima-X XRD 7000.....	33
Gambar 17. AAS Tipe Shimadzu AA-7000 ASC-7000	34
Gambar 18. Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 19. Kenampakan Lapangan Sampel Bijih Tembaga Oksida.....	36
Gambar 20. Sampel Bijih Tembaga Oksida.....	37
Gambar 21. Hasil Analisis Mikroskopis Sampel tembaga Oksida	37
Gambar 22. Hasil analisis XRD sampel awal	39
Gambar 23. Hasil analisis XRD sampel awal dan residu hasil pelindian 2 M 1,5 jam dan 6 m 1 jam.....	40
Gambar 24. Grafik hubungan konsentrasi HCl dan tingkat pelindian dengan	43
Gambar 25. Grafik hubungan waktu pelindian dan tingkat pelindian dengan.....	45



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Mineral tembaga Terpenting	7
Tabel 2. Hasil pengenceran reagen pelindian	28
Tabel 3. Komposisi mineral bijih tembaga Oksida dari hasil analisis XRD.....	39
Tabel 4. Hasil analisis awal kadar Cu sampel bijih tembaga dengan menggunakan AAS	41
Tabel 5. Hasil analisis kadar Cu pregnant solution berdasarkan konsentrasi asam klorida setelah pelindian dengan menggunakan AAS	42
Tabel 6. Tingkat pelindian Cu berdasarkan konsentrasi asam klorida.....	43
Tabel 7. Hasil analisis kadar Cu bijih tembaga oksida berdasarkan lama waktu pelindian dengan menggunakan AAS	44
Tabel 8. Tingkat pelindian Cu berdasarkan lama waktu pelindian	45



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
Cu	Copper
M	Molar
AAL	Atmospherice Acid Leaching
FCC	Face Center Cubic
Ppm	Part per million
XRD	X-Ray Difrraction
AAS	Atomic Absorption Spectrofotometry
Qz	Quartz
Mgh	Maghemite
Pmlc	Pseudomalacite
Gth	Goetith
Chm	Chamosite
Mlc	Malacite
gr	Gram
mL	Mili liter
m	Mass
GMR	Giant Magneto Resistance
FED	Field Emission Displays
μm	Mikron



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Analisis Mikroskopis	54
Lampiran 2 Hasil Analisis XRD	57
Lampiran 3 Hasil Analisis AAS.....	70
Lampiran 4 Perhitungan Pengenceran Asam Klorida.....	73
Lampiran 5 Perhitungan Tingkat Pelindian Cu.....	75
Lampiran 6 Kartu Konsultasi	79



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah atas rahmat dan petunjuk-Nya yang diberikan kepada penulis, sehingga penulis pada akhirnya dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Studi Ekstraksi Tembaga Dari Bijih Oksida Dengan Menggunakan Pelarut Asam Klorida”**. Sholawat serta salam tak lupa dihaturkan kepada baginda Rasulullah SAW. sang pemimpin dan sang teladan yang baik yang telah memimpin umat manusia dalam menegakkan agama Islam di muka bumi. Tujuan penulisan tugas akhir ini pada program strata 1 ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi strata 1 pada Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Selain itu, tugas akhir ini juga dibuat sebagai salah satu wujud implementasi dari ilmu yang didapatkan selama masa perkuliahan.

Penyelesaian tugas akhir ini tidak lepas dari pihak-pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, saran, serta ilmu yang bermanfaat bagi penulis. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Pertambangan FT-UH. Terima kasih kepada Bapak Dr. Sufriadin, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Analisis dan Pengolahan Bahan Galian, sekaligus sebagai pembimbing yang senantiasa meluangkan waktu, tenaga, pikiran, serta motivasi bagi penulis. Terima kasih juga kepada Bapak/Ibu dosen yang telah memberikan ilmu selama berkuliah beserta pegawai dan staf Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Terima kasih kepada seluruh anggota Laboratorium Analisis dan Pengolahan Bahan Galian yang senantiasa membantu dan memberikan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Terima kasih Kepada keluarga besar Ayahanda Herman dan Keluarga Besar Ibunda Rosjaya, S.Pd. SD tercinta serta adik saya Muhammad Syiwal Badri yang senantiasa memberikan dukungan, doa, dan semangat kepada penulis selama menempuh pendidikan di Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Terima kasih kepada Alifian Rahfaisal yang senantiasa memberikan dukungan, mendengarkan keluh kesah penulis, memberikan semangat dan tenaga kepada penulis selama menyelesaikan tugas akhir. Terakhir Terima kasih juga kepada seluruh saudara seperjuangan DRILLING 2020 yang senantiasa memberikan dukungan dan yang tetap saling merangkul dari awal perkuliahan sampai sekarang.

Semoga segala kebaikan dan pertolongan semuanya mendapat berkah dari Allah SWT, dan penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati, penulis menerima saran dan kritik membangun dari berbagai pihak demi kesempurnaan laporan ini. Semoga laporan ini dapat bermanfaat kepada para pembaca.

Gowa, Juni 2024

Manjaria Putri Perdana



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang memiliki berbagai jenis barang tambang dan tembaga merupakan salah satu diantaranya. Namun dalam pengelolaan dan pengolahannya masih belum optimal dikarenakan kapasitas pabrik peleburan konsentrat tembaga di Indonesia masih terbatas, yaitu hanya menampung sekitar 30% dari total produk konsentrat. Maka diperlukan adanya suatu upaya peningkatan kapasitas peleburan dalam negeri yang akan memberi nilai tambah yang lebih besar bagi perkembangan industri dan penyediaan lapangan kerja (Murta & Pintowantoro, 2012).

Tembaga (Cu) adalah suatu unsur logam berat yang ditemukan di alam dalam keadaan bebas dan sebagai senyawanya. Tembaga dalam bentuk senyawa umumnya terdapat dalam mineral-mineral, terutama mineral sulfida, oksida dan karbonat. Tembaga merupakan unsur transisi berwarna coklat kemerahan yang mempunyai nomor atom 29 kerapatan 8,93 gram/cm³. Tembaga banyak digunakan dalam industri alat-alat listrik, zat warna dalam industri cat, dan dapat digunakan sebagai fungisida, yaitu tembaga sulfat (CuSO₄). Tembaga memiliki tingkat oksidasi dari 0 sampai 2+, yang merupakan oksidasi tertinggi dari tembaga dalam bentuk senyawa (Hasria dkk., 2015).

Sesuai dengan Permen ESDM Nomor 7 Tahun 2012 tanggal 6 Februari 2012 Tentang Peningkatan Nilai Tambang Mineral Melalui Pengolahan dan Pemurnian Mineral, pelaksana kegiatan usaha pertambangan diharuskan mengolah dan memurnikan mineral dan batu bara di dalam negeri. Tentu ini tidak mudah mengingat modal yang digunakan dalam rangkaian proses ini sangat besar sehingga akan menghambat kinerja sektor pertambangan nasional, terutama perusahaan pertambangan rakyat. Tembaga banyak digunakan untuk industri kimia sebagai bahan celup dan rayon, alat – alat rumah tangga, alat-alat otomotif, dekorasi atau

dan sebagainya. Pengolahan tembaga yang telah dilakukan biasanya akan proses hidrometalurgi (proses ekstraksi yang dilakukan pada ar yang relatif rendah dengan cara pelindian media cairan) dan proses



pirometalurgi (proses ekstraksi yang dilakukan pada temperatur tinggi). Kedua proses tersebut memiliki beberapa kelemahan. Proses hidrometalurgi hanya digunakan untuk material tertentu dan waktu yang digunakan untuk pengekstraksian relatif lama. Begitu juga dengan proses pirometalurgi, bahan bakar yang digunakan sangat banyak sehingga biaya operasional menjadi besar (Murta & Pintowantoro, 2012).

Ekstraksi padat-cair atau *leaching* adalah proses pemisahan cairan dari padatan dengan menggunakan cairan sebagai bahan pelarutnya. Pelarut dalam proses leaching biasa menggunakan pelarut asam kuat yaitu H_2SO_4 , HCl, HNO_3 . Larutan asam yang diuji yakni asam sulfat, asam nitrat dan asam klorida. Hasilnya menunjukkan bahwa larutan asam klorida memiliki kecenderungan mengekstraksi lebih besar dibanding larutan asam sulfat dan asam nitrat. Oleh karena itu, dilakukan proses pelindian bijih dengan menggunakan larutan asam klorida sebagai pelarut dengan variabel konsentrasi untuk mengetahui pengaruh konsentrasi HCl selama pelindihan (Mukhtar dkk., 2022).

Berdasarkan beberapa penelitian yang pernah dilakukan menunjukkan bahwa proses *leaching* dengan menggunakan asam sulfat, asam klorida, dan asam nitrat berjalan dengan baik dan mampu menghasilkan nilai *recovery* yang cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan asam-asam organik, seperti asam oksalat. Berdasarkan hal tersebut penelitian ini akan membahas tentang pengolahan bijih tembaga oksida dengan metode pelindian dengan menggunakan metode (*Acid Leaching Technology*) yang merupakan salah satu metode hidrometalurgi dengan menggunakan asam kuat yaitu asam klorida.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah pada penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana karakteristik mineralogi sampel bijih tembaga oksida.
2. Bagaimana pengaruh variabel konsentrasi asam klorida terhadap tingkat pelindian tembaga.

3. Bagaimana pengaruh variabel waktu terhadap tingkat pelindian tembaga.



1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik mineralogi sampel bijih tembaga oksida.
2. Menganalisis pengaruh variabel konsentrasi asam klorida terhadap tingkat pelindian tembaga.
3. Menganalisis pengaruh variabel waktu terhadap tingkat pelindian tembaga.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan diharapkan menambah wawasan dan memberikan informasi tambahan mengenai alternatif lain dalam pengolahan dan ekstraksi tembaga kadar rendah yaitu tembaga oksida sehingga dapat didiolah dan diekstraksi secara efektif.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian mengenai ekstraksi tembaga dari bijih oksida dengan menggunakan pelarut asam klorida dilakukan di Laboratorium Analisis dan Pengolahan bahan Galian dan Laboratorium Penelitian dan Pengembangan Sains Universitas Hasanuddin. Pada penelitian ini digunakan 2 variabel yaitu variabel konsentrasi dan juga variabel waktu. Dengan demikian ruang lingkup penelitian ini dibatasi untuk mengetahui pengaruh variabel konsentrasi dan variabel waktu terhadap perolehan recovery tembaga melalui proses ekstraksi.

1.6 Tahapan Kegiatan Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama kurun waktu 6 bulan selama bulan Desember 2023 sampai bulan Juni 2024 yang dilaksanakan di Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Adapun tahapan kegiatan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Persiapan



Tahapan persiapan merupakan tahapan yang berisi kegiatan awal sebelum dilakukan penelitian. Tahapan persiapan terdiri dari perumusan masalah yang akan diteliti dalam kegiatan penelitian dan persiapan administrasi yang terkait

dalam penelitian, pengumpulan referensi atau literatur mengenai masalah yang diteliti agar dapat menunjang penelitian, serta persiapan bahan-bahan dan alat-alat yang digunakan pada saat penelitian.

2. Studi literatur

Tahapan ini merupakan tahapan yang dilakukan selama berjalannya penelitian dari awal hingga selesainya penelitian. Tahapan ini berupa kajian kepustakaan untuk memahami dan menunjang kegiatan penelitian yang dilakukan. Studi literatur juga sebagai petunjuk dalam menentukan rancangan penelitian serta persiapan yang dibutuhkan dalam penyusunan tugas akhir. Studi literatur dapat dilakukan melalui dari jurnal, buku, artikel ilmiah, dan referensi lainnya yang berkaitan dengan topik penelitian.

3. Penelitian di laboratorium

Kegiatan pada tahap ini meliputi preparasi sampel, pelindian sampel, karakterisasi sampel awal serta karakterisasi sampel yang telah dilakukan pelindian. Tahapan preparasi sampel terbagi atas dua meliputi preparasi sayatan poles yang digunakan dalam analisis mikroskopis dan preparasi sampel bubuk digunakan untuk analisis XRD dan analisis AAS.

4. Pengolahan data

Pengolahan data merupakan tahapan mengumpulkan data-data hasil analisis sehingga diakhir dapat diperoleh hasil atau pemecahan dari masalah penelitian. Data dari hasil analisis AAS dibandingkan dan dikaji sehingga didapatkan laju ekstraksi tembaga dari sampel bijih oksida menggunakan asam sitrat yang disajikan dalam bentuk tabel, grafik dan kurva.

5. Penyusunan laporan tugas akhir

Tahapan ini merupakan tahapan paling akhir yang dilakukan dalam rangkaian kegiatan penelitian. Seluruh hasil penelitian akan disusun dan dilaporkan secara sistematis sesuai aturan penulisan buku putih yang telah ditetapkan oleh Departemen Teknik Pertambangan, Universitas Hasanuddin.

6. Seminar dan penyerahan laporan

Laporan tugas akhir akan dipresentasikan pada seminar hasil dan ujian akhir. Tahapan ini dimaksudkan untuk memaparkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, tahapan ini akan didapatkan saran untuk



menyempurnakan laporan tugas akhir dari tim penguji, pembimbing dan peserta seminar. Laporan tugas akhir yang telah direvisi diserahkan ke Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tembaga

Tembaga di alam banyak ditemukan dalam bentuk senyawa sulfida, seperti kalkopirit (CuFeS_2), kalkosit (Cu_2S), dan bornit (Cu_5FeS_4). Teknologi untuk memisahkan tembaga dari konsentrasinya yang paling dianggap ekonomis sampai dewasa ini adalah pirometalurgi. Proses ini memiliki kelemahan yaitu membutuhkan energi yang besar dan menghasilkan hasil samping berupa gas SO_2 yang merupakan polutan bagi rantai kehidupan (Kuncaka et.al., 2005).

Logam tembaga sebagian besar ditemukan dalam kerak bumi sebagai mineral-mineral tembaga besi-sulfida seperti kalkopirit (CuFeS_2) dan bornit (Cu_5FeS_4) serta mineral-mineral tembaga sulfida seperti kalkosit (Cu_2S) dan kovelit (CuS). Selain itu, tembaga dalam jumlah yang lebih sedikit juga ditemukan dalam bentuk mineral-mineral oksida, native, silikat, karbonat dan sulfat. Dengan berjalannya waktu konsentrasi tembaga dalam bijih yang ditambang semakin rendah. Pada saat ini, perusahaan tambang sudah menambang bijih dengan kandungan Cu 0,5%, dan level ini turun signifikan dibandingkan beberapa tahun yang lalu pada kadar tembaga 1-2% (Mubarok & Gunardi, 2015).

Tembaga merupakan logam yang penting dalam kehidupan sehari sehari karena mempunyai sifat penghantar listrik dan panas yang baik. Tembaga berwarna coklat keabu-abuan dan mempunyai struktur *Face Center Cubic* (FCC). Proses ekstraksi logam tembaga biasanya dilakukan dengan cara hidrometalurgi atau pirometalurgi. Namun kedua cara ini tidak ramah lingkungan karena menimbulkan sisa sisa hasil dari proses ekstraksi yang berbahaya. Salah satu metode yang sedang dikembangkan untuk mendapatkan (*recovery*) logam yang ramah lingkungan yaitu phytomining (Rahman et.al., 2021)

Tembaga berwarna coklat keabu-abuan dan mempunyai struktur kristal FCC. Tembaga ini mempunyai sifat sifat yang sangat baik yakni sebagai penghantar



panas yang baik, mampu tempa, duktil dan mudah dibentuk menjadi plat-kawat. Bijih-bijih tembaga dapat diklasifikasikan atas tiga golongan yaitu sulfida, Bijih Oksida, dan Bijih murni (*native*).

Tabel 1. Mineral tembaga Terpenting

Mineral	Rumus Kimia	Kandungan tembaga
<i>Chalcopyrite</i>	Cu Fe S ₂	34,6 %
<i>Bornite</i>	CuS Fe ₂ S ₃	55,570 %
<i>Cholcocite</i>	Cu ₂ S	68,5 %
<i>Malcrite</i>	Cu Co ₃	57,4 %
<i>Native Copper</i>	Cu	99,99 %
<i>Herogenite</i>	Cu ₂ O ₃ CuO _n H ₂ O	-

Sumber: Sukamto, et.al (2015).

Ditinjau dari sifat kimianya logam-logam mempunyai oksida-oksida pembentuk basa dan berdasarkan sifat-sifat logam terhadap oksida ini logam-logam tersebut dapat digolongkan menjadi (Sukamto, dkk, 2015):

1. Logam Mulia, yaitu logam yang tidak dapat mengalami oksida, misalnya; Au, Pt, Ag dan Hg.
2. Logam setengah mulia, yaitu logam yang agak sukar teroksidasi, misalnya Cu.
3. Logam tidak Mulia, yaitu logam-logam yang dalam keadaan biasa dan pada perubahan temperatur mudah teroksidasi, mis alnya K, Na, Mg, Ca, Al, Zn, Fe, Sn, Pb dll. Terlihat bahwa logam Cu merupakan logam setengah mulia yang agak sukar teroksidasi, maka pada Tabel 1 mineral tembaga terpenting berada pada senyawa sulfide dan hidroksida.

Berikut Sifat-sifat tembaga yang menjadikannya logam yang sangat berguna (Internasional Copper Association, 2022):

1. Konduktivitas listrik yang baik
Tembaga memiliki konduktivitas listrik terbaik dari logam apapun, kecuali perak. Tembaga memiliki peringkat konduktivitas 100%, dan karena kemajuan teknologi modern, bahkan dapat mencapai konduktivitas 101% dibandingkan dengan standarnya sendiri ketika oksigen dihilangkan.
2. Konduktivitas panas yang baik
Tembaga dapat memanaskan dan mendinginkan dengan cepat sehingga tembaga merupakan solusi manajemen termal yang ideal jika dibandingkan dengan am yang lain kecuali perak.



3. Tahan korosi
Tembaga merupakan logam yang tahan karena memiliki reaktivitas yang rendah.
4. Antimikroba
Tembaga secara inheren bersifat anti mikroba, artinya dengan cepat akan membunuh bakteri, virus, dan jamur yang mengendap dipermukaanya.
5. Paduan mudah bergabung
Tembaga dapat dikombinasikan dengan mudah dengan logam lain untuk membuat paduan. Seperti kuningan (dipadukan dengan seng), perunggu (dipadukan dengan timah), cupronikel (dipadukan dengan nikel), dan tembaga berilium (dipadukan dengan berilium).
6. Elastis
Tembaga adalah logam yang elastis, ini berarti dapat dengan mudah dibentuk menjadi pipa dan ditarik menjadi kabel.
7. Dapat didaur ulang tanpa batas dan tanpa kehilangan kualitas
Tembaga memiliki Sejarah daur ulang terpanjang dari setiap bahan yang dikenal peradaban. Diperkirakan bahwa 80% dari semua tembaga yang ditambang selama 10.000 tahun terakhir masih digunakan saat ini. Lebih dari 30% permintaan tembaga tahunan dunia saat ini dipasok oleh tembaga daur ulang.

2.2 Tembaga Oksida

Tembaga (Cu) merupakan logam yang banyak digunakan dalam bidang kelistrikan, elektronik, konstruksi, dan manufaktur. Saat ini, ada dua metode ekstraksi penting yang digunakan pirometalurgi dan hidrometalurgi. Pirometalurgi adalah suatu metode konvensional metode (konsentrasi-peleburan-pemurnian) umumnya digunakan untuk mengekstraksi Cu dari bijihnya. Namun, pirometalurgi telah digunakan terutama untuk konsentrat flotasi sulfida bijihnya dan secara ekonomi dapat dicapai dengan produksi skala industri, namun hanya jika bahan pakan adalah



adalah Cu. Sebaliknya, hidrometalurgi merupakan metode ekstraksi Cu penting yang digunakan secara luas di seluruh dunia. Oksida Cu yang berbeda seperti tenorit (Cu₂(OH)₂CO₃), dan *chrysocolla* ((Cu,Al)₂H₂Si₂O₅(OH)₄·nH₂O)

mudah dilarutkan dengan bahan pengencer asam yang hemat biaya seperti asam sulfat (H_2SO_4). Karena itu, proses hidrometalurgi, termasuk pelindian, ekstraksi pelarut, dan *elektro-winnin* dianggap sebagai pendekatan yang menguntungkan dan hemat biaya untuk ekstraksi tembaga dari oksida bijih (Kim et.al, 2021).

Tembaga (II) oksida (CuO) merupakan salah satu senyawa oksida logam transisi yang memiliki karakteristik menarik sebagai semikonduktor tipe-p. Oksida logam transisi ini memiliki celah pita energi (*band gap*) yang sempit, yaitu 1,2 eV pada fasa ruah (*bulk*). Karena sifatnya ini, tembaga (II) oksida dapat diaplikasikan sebagai sel surya, fotodetektor, fotokatalis, dan *field emission displays* (FEDs). Dalam aplikasi fotovoltaik sendiri, CuO banyak menarik perhatian karena harganya yang relatif murah, absorbansi cahaya yang tinggi, emisi termal yang rendah, tidak beracun, serta proses pembuatan yang relatif sederhana. Selain itu, material ini memiliki kestabilan dan sifat listrik yang baik. Material ini juga merupakan bahan dasar bagi beberapa superkonduktor suhu tinggi dan material GMR (*giant magneto resistance*). Untuk aplikasi-aplikasi tersebut, ukuran dan bentuk/morfologi material memainkan peranan penting, karena ukuran dan morfologi yang berbeda akan menyebabkan perbedaan karakteristik material tersebut.

Karakteristik material tembaga oksida (CuO) bergantung pada struktur dan morfologinya. Prosedur sintesis tembaga oksida memberikan pengaruh yang signifikan terhadap struktur dan morfologi material yang dihasilkan. Pada penelitian ini, nanostruktur tembaga oksida disintesis melalui proses hidrotermal dengan prosedur yang relatif sederhana. Karakterisasi terhadap sampel CuO yang dihasilkan menunjukkan morfologi partikel yang tidak beraturan dan berongga dengan ukuran partikel berkisar antara 300-800 nm dan ukuran rongga berkisar antara 100-300 nm. Struktur CuO dikonfirmasi dengan adanya puncak difraksi karakteristik CuO pada sudut difraksi (2θ) $35,29^\circ$ dan $38,50^\circ$. Nanostruktur CuO yang dihasilkan memperlihatkan serapan maksimum pada panjang gelombang 416-422 nm (Sundari et.al., 2018).

Logam tembaga dan beberapa bentuk persenyawaannya seperti CuO, $CuCO_3$, dan $Cu(CN)_2$ tidak dapat larut dalam air dingin atau air panas, tetapi dapat larut dalam asam. Logam tembaga itu sendiri dapat dilarutkan dalam senyawa asam yang kuat, dan dalam larutan basa NH_4OH . Tembaga banyak digunakan



pada pabrik yang memproduksi alat-alat listrik, sebagai alloy dengan perak (Ag), kadmium (Cd), timah putih dan seng (Zn) (Andaka, 2008).

CuO adalah salah satu oksida logam yang berguna dan memiliki banyak aplikasi di berbagai bidang. Nanopartikel tembaga oksida menjadi perhatian khusus karena efisiensinya sebagai nanofluida dalam aplikasi perpindahan panas. Telah dilaporkan bahwa penambahan CuO sebesar 4% meningkatkan konduktivitas termal air sebesar 20%. CuO-NP telah dibuat dengan berbagai ukuran dan bentuk melalui beberapa metode seperti sonokimia, dekomposisi termal langsung, metode elektrokimia, proses sintesis koloidtermal], dan radiasi gelombang mikro (Rajesh, et.al, 2021).

Tembaga oksida mempunyai aplikasi sebagai sensor tekanan oksigen dan sebagai bahan semikonduktor tipe-p. Nanopartikel oksida tembaga dengan berbagai morfologi telah dicampur dengan prosedur yang berbeda-beda, misalnya kerusakan cikal bakal logam, respon dasar susunan garam berbau, nukleasi asap zat dari Tembaga (II) Asetilacetonat, dengan strategi dasar polioliol tanpa surfaktan, dibantu dengan surfaktan. aliran air dan sebagainya. Bunga mikro CuO yang terbuat dari lembaran nano dengan ukuran merdu telah diproduksi melalui respon dasar dalam pengaturan alkali pada suhu 90-180°C. Selain itu, bunga mikro CuO menunjukkan pergerakan reaktan yang kuat terhadap kerusakan amonium perklorat (Ankur, 2021).

2.3 Teknologi Pengolahan Tembaga

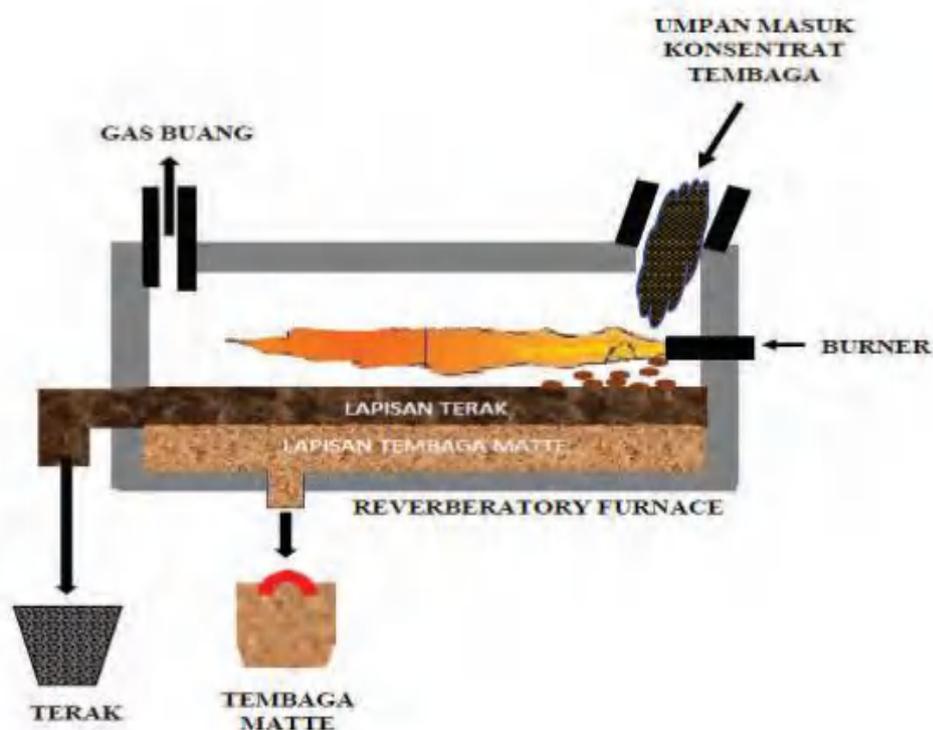
Kegiatan metalurgi ekstraksi telah berlangsung sejak zaman purba pada 4000 tahun sebelum Masehi. Emas dan tembaga merupakan logam pertama yang diekstrak oleh umat manusia dengan cara dilebur secara sederhana. Kemudian pada 2400 tahun sebelum masehi atau pada zaman perunggu, umat manusia membuat perunggu dengan cara melebur campuran logam tembaga dan timah secara bersama atau mereduksi secara Bersama campuran bijih tembaga dan bijih timah. Ada beberapa alasan mengapa logam-logam tersebut telah digunakan pada saat itu, yaitu karena

gam tersebut ditemukan dalam bentuk alami (*native*) seperti emas, dan besi meteor. Logam-logam tersebut mudah dibuat dengan cara



sederhana, yaitu dengan mereduksi oksidanya pada temperatur di bawah 800°C , temperatur yang mudah dicapai dengancara membakar batang kayu.

Bijih tembaga sulfida dan oksida merupakan bahan baku untuk membuat logam tembaga. Proses ekstraksi tembaga dari kedua bijih tersebut umumnya dilakukan dengan cara pirometalurgi, hidrometalurgi, elektrometalurgi, atau gabungan ketiganya. Ekstraksi tembaga dari bijih tembaga sulfida dilakukan melalui beberapa tahapan proses, yaitu proses konsentrasi bijih tembaga dengan cara flotasi untuk menghasilkan konsentrat yang mengandung 25–30% tembaga, proses peleburan konsentrat tembaga pada temperatur 1250°C untuk menghasilkan tembaga matte yang mengandung 30–70% tembaga, proses pembuatan tembaga blister yang mengandung 99% tembaga dari tembaga matte dalam converter dan proses pemurnian tembaga blister dengan cara *electrorefining* untuk menghasilkan logam tembaga yang mempunyai kemurnian 99,997% tembaga. Sejak abad ke-17, proses peleburan tembaga dilakukan secara tidak kontinu atau proses *batch* menggunakan tungku *reverberatory* Gambar 1 (subagja, 2021).



Gambar 1. *Reverberatory Furnace*

pengolahan bijih tembaga primer dengan proses pirometalurgi menyumbang 30% produksi tembaga dunia (Schlesinger dkk., 2011). Namun, proses ini



memiliki beberapa keterbatasan untuk mengolah bijih tembaga sulfida lainnya dengan bahan organik dan anorganik, silika, arsenik, dan polimetalik (seng, timbal, kobalt, dan PGE). Flotasi bijih karbon sulfida merupakan suatu tantangan karena pertumbuhan mineral berharga yang sangat halus dengan pengotor karbon organik dan karbonat. Konsumsi reagen yang tinggi juga dikaitkan dengan mineral gangue yang ada dalam bijih kompleks ini.

keberadaan bahan berkarbon dalam bijih menurunkan perolehan tembaga dan menyebabkan peningkatan pengotor seperti Pb, As dan bahan organik dalam konsentrat flotasi. Kontaminan karbon dalam konsentrat tembaga menimbulkan tantangan dalam proses hilir dan dilaporkan menyebabkan masalah peleburan seperti ketidak seimbangan termal dan penurunan kekuatan sinter, yang membuat pengendalian proses menjadi sulit (Gupta, 2017). Sebuah penelitian menunjukkan bahwa ketika bijih karbon sulfida 2,08% berat Cu diproses melalui flotasi, hanya rata-rata sekitar 60% Cu yang diperoleh kembali, karena adanya karbon organik dan anorganik hidrofobik alami dalam bijih. Efisiensi pemisahan sebesar 65,75% dicapai antara tembaga dan karbon organik. Hasil kecil ini menimbulkan kebutuhan untuk menyelidiki lebih lanjut rute alternatif untuk memulihkan tembaga secara efisien dari bijih karbon sulfida kompleks (Godirilwe, et.al., 2021).

Selain proses pirometalurgi, proses lainnya yang telah dikembangkan untuk membuat logam tembaga adalah proses hidrometalurgi yang menggunakan tahapan proses pelindian, solvent ekstraksi, dan *electrowinning*. Proses hidrometalurgi yang menggunakan pelarut sulfat lebih disukai daripada proses yang menggunakan pelarut klorida karena logam tembaga lebih mudah diperoleh dengan cara *electrowinning* dari larutan tembaga sulfat daripada *electrowinning* dari larutan tembaga klorida. Masalah yang dihadapi pada proses ekstraksi tembaga dari bijih tembaga sulfida kalkopirit dengan cara hidrometalurgi menggunakan pelarut sulfat adalah terbentuknya unsur belerang pada permukaan kalkopirit yang menimbulkan pasivasi dan mengganggu proses pelarutan selanjutnya. Beberapa cara telah diupayakan untuk menyelesaikan masalah pasivasi yaitu dengan menambahkan

, pirit, MnO_2 , feri sulfat, kupri sulfat atau dengan aktivasi proses pelarutan mekanik.

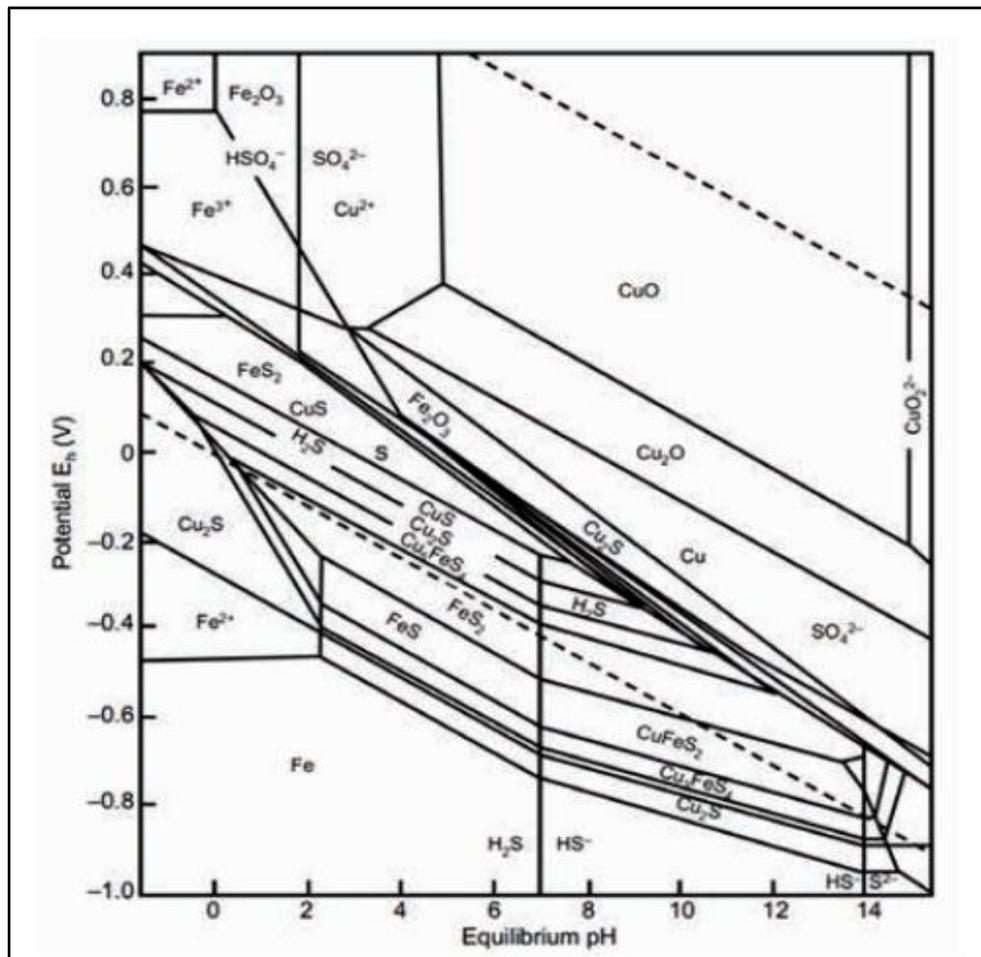


Pemrosesan hidrometalurgi sedang dieksplorasi secara luas sebagai jalur alternatif untuk ekstraksi logam karena potensinya yang besar untuk memproses bijih yang kompleks dan berkadar rendah dengan dampak lingkungan yang lebih kecil. Beberapa penelitian telah dilakukan pada pengolahan bijih tembaga sulfida kompleks dan bijih tembaga berkarbon. Untuk meningkatkan efisiensi pelarutan logam berharga, konsentrat sulfida dipanggang dengan adanya kalsium oksida sebelum pencucian menggunakan asam sulfat. Proses pemanggangan kalsifikasi menghasilkan sedikit emisi SO_2 karena 97% belerang dipertahankan sebagai kalsium sulfat.

Untuk bijih tembaga sulfida, proses ekstraksi yang dominan digunakan adalah melalui jalur flotasi untuk menghasilkan konsentrat tembaga yang kemudian dilebur dan dimurnikan dengan *pyrorefining* dan *electrolytic refining*. Jalur proses ini berkontribusi terhadap $\pm 80\%$ dari total produksi tembaga dunia (Schlesinger, *et.al*, 2011). Sementara, untuk bijih tembaga oksida dan sebagian bijih sulfida sekunder, proses ekstraksi tembaga di industri juga dilakukan dengan jalur hidrometalurgi. Jalur hidrometalurgi ini terdiri dari proses pelindian dalam asam sulfat atau klorida diikuti ekstraksi pelarut dan *electrowinning*.

Berbeda dengan bijih tipe oksida, diperlukan oksidator tertentu untuk melarutkan tembaga dari bijih tipe sulfida pada tekanan atmosfer maupun tekanan tinggi. Oksidator ini berfungsi untuk mengoksidasi sulfur yang berikatan dengan tembaga menjadi sulfur elemental atau sulfat sehingga tembaga dapat dilarutkan. Salah satu jenis oksidator yang menarik banyak peneliti di dunia untuk proses ekstraksi tembaga dari bijih tembaga sulfida adalah ozon yang dapat digenerasi dari udara bebas. Keunggulannya, ozon merupakan oksidator yang sangat kuat (lebih kuat dari gas oksigen, gas klorin dan asam peroksida). Ozon dapat digenerasi dari udara dengan sebuah generator ozon, yang selanjutnya ozon tersebut di hembuskan ke dalam larutan pelindian. Prinsip proses pelarutan tembaga dari mineral-mineral tembaga oksida dan sulfida dapat dipelajari Diagram Potensial-pH sistem Cu-S- H_2O seperti ditunjukkan pada Gambar 2 (Mubarok & Gunardi, 2015).





Gambar 2. Diagram Eh-pH sistem Cu-Fe-S-OH₂O pada 25°C. [Cu] 0,01 M, [Fe] = [S] = 0,1 M

Sebuah penelitian pelindian tembaga dari bijih tembaga kadar rendah yang mengandung kalsium-magnesium karbonat dalam media pelindian amoniak. Saat pelindian bijih berkarbon, media pelindian amoniak kadang-kadang lebih disukai daripada media asam karena tidak bereaksi dengan karbonat dan gangue mengandung silika dalam bijih. Di penelitian lain juga menggunakan media pelindian amonia saat menyelidiki pelindian bertekanan pada material yang diperkaya serpih. Namun, kerugian yang terkait dengan penggunaan amonia mencakup berbagai masalah kesehatan dan lingkungan, masalah operasional seperti keterbatasan penggunaan kembali amonia, volatilitasnya pada suhu tinggi, dan stabilitasnya bidang stabilitas Eh-pH kompleks logamnya. Metode pelindian lain yang layak dipertimbangkan adalah *bioleaching*, ketika metode *bioleaching* menggunakan *Acidianus brierleyi*, keberadaan bahan berkarbon ditemukan untuk meningkatkan *bioleaching* tembaga dari konsentrat kalkopirit. Namun dikatakan



bahwa bioleaching menggunakan bakteri asidofilik pada nilai pH di bawah 4 sangat terhambat oleh tingginya konsumsi asam dari kandungan karbonat yang melimpah dalam bijih tembaga. Meskipun demikian, ketika menggunakan mikroorganisme heterotrofik dan asam glutamat dalam kondisi netral sebagai alternatif untuk memperoleh tembaga dari Kupferschiefer, perolehan tembaga yang rendah hingga 44% masih diperoleh (Godirilwe dkk., 2021).

Saat ini, hidrometalurgi terutama digunakan hanya untuk bijih oksida atau bijih kadar rendah. Tetapi proses hidrometalurgi memiliki banyak keunggulan dibandingkan proses pirometalurgi antara lain (Lusty & Hannis, 2009):

1. Bijih kadar rendah dapat diproses
2. Efisiensi energi yang lebih tinggi karena suhu yang lebih rendah diperlukan
3. Modal dan biaya operasional yang lebih rendah membuat hidrometalurgi lebih ekonomis untuk operasi skala kecil.
4. Dampak lingkungan yang lebih rendah karena aliran limbah cair lebih mudah ditampung dan dinetralkan, misalnya, gas belerang dioksida yang dikeluarkan selama peleburan.

2.4 Pelindian Menggunakan Asam Klorida

Ekstraksi hidrometalurgi adalah cabang industry yang penelitiannya berlangsung untuk dikembangkan sebagai proses yang lebih murah, lebih ramah lingkungan dan dapat diterima secara ekonomi. Dalam ekstraksi hidrometalurgi, banyak agen pelindian yang digunakan seperti HCl, HNO₃, dan H₂SO₄. Namun, Sebagian besar agen pelindian yang menyebabkan pencemaran lingkungan. Asam organik seperti asam klorida, asetat dan oksalat dapat menjadi agen pelidian alternatif yang lebih ramah lingkungan karena pelindian dilakukan pada kondisi asam sedang. Namun, mereka tidak dapat dignakan sebagai agen pelindian untuk senyawa yang susah untuk dilarutkan karena keasamannya yang lemah, suhu didih yang rendah dan dekomposisi (Demir *et.al.*, 2006).

Sekitar 20% sisanya dari produksi tembaga primer berasal dari pengolahan alurgi terutama bijih tembaga oksida dan kalkosit. Tembaga ini diperoleh melalui proses pelindian, diikuti dengan ekstraksi pelarut dan *nning*. Produk akhir adalah tembaga katoda electrowon, yang



kemurniannya sama dengan atau seringkali lebih besar daripada tembaga yang melalui proses *electrorefining* (Schlesinger *et. al.*, 2011).

Proses pelindian melibatkan pelarutan komponen berharga dari bijih dalam larutan pelindi. Dalam kasus mineral tembaga, asam sulfat hampir selalu digunakan sebagai media pelindian. Mineral tembaga oksida mudah larut dalam asam dan beberapa sulfida, seperti kalkosit dan kovellit, larut dalam kondisi atmosfer. Sedangkan untuk mineral sulfida (kalkopirit dan bornit) memerlukan suhu dan tekanan tinggi untuk memecah kisi kristal untuk melepaskan tembaga dari mineral ke dalam larutan (Schlesinger *et. al.*, 2011). Asam klorida merupakan asam kuat yang paling tidak berbahaya dibandingkan dengan asam kuat lainnya karena mengandung ion klorida yang tidak reaktif dan tidak beracun. Asam klorida dalam konsentrasi menengah cukup stabil untuk disimpan dan terus mempertahankan konsentrasinya. Asam klorida diproduksi dalam bentuk larutan 38 % HCl (pekat). Konsentrasi yang lebih besar dari 40 % dimungkinkan secara kimiawi, namun laju penguapan sangatlah tinggi, sehingga penyimpanan dan penanganannya harus dilakukan dalam suhu rendah. Konsentrasi HCl yang sangat optimal untuk pengantar produk adalah 30 % sampai 34 %. Oleh sebab itu, asam klorida merupakan reagen pengasaman yang sangat baik (sari, 2019).

Asam klorida merupakan senyawa asam kuat yang stabil dan mudah larut atau dapat berdisosiasi penuh dalam air sehingga sering digunakan dalam analisis kimia untuk mendestruksi sampel analisis. Berdasarkan penelitian sebelumnya, aktivasi dengan HCl lebih dapat melarutkan pengotor sehingga pori-pori lebih banyak terbentuk dan proses penjerapan adsorban menjadi lebih maksimal, dibandingkan aktivasi dengan H_2SO_4 yang lebih sedikit jumlah pori-porinya. Hal ini dikarenakan dinding struktur dari karbon aktif tersebut dapat dirusak oleh H_2SO_4 yang bersifat destruktif (supiati dkk., 2012).

Proses pemurnian bertujuan untuk memisahkan suatu senyawa kimia yang diinginkan dari senyawa kimia lain atau pengotor, biasanya menggunakan asam kuat seperti asam klorida. Asam klorida akan bereaksi dengan oksida logam

melkikan garam dan air (Pratomo dkk, 2013). Asam klorida pekat melarutkan oksida logam dan menghasilkan logam klorida dan gas hidrogen. Asam klorida juga bereaksi dengan senyawa dasar emacam kalsium karbonat dan



tembaga. Asam klorida merupakan senyawa asam kuat yang stabil dan mudah larut atau dapat berdisosiasi penuh dalam air sehingga sering digunakan dalam analisis kimia untuk mendestruksi sampel analisis (sari, 2019).

Proses pelindian merupakan proses ekstraksi padat-cair yang bertujuan untuk memisahkan suatu senyawa kimia yang diinginkan dari senyawa kimia lain atau pengotor dari padatan ke dalam cairan. Proses pelindian biasanya menggunakan asam kuat seperti asam klorida. Penggunaan asam klorida berfungsi untuk melarutkan oksida logam. Abu kerak boiler memiliki kandungan berupa silika sebesar 31,45% serta logam-logam lain seperti Kalium dan Natrium. Asam klorida akan bereaksi dengan oksida logam menghasilkan garam dan air. Pemisahan silika dari berbagai macam bahan anorganik telah banyak dilakukan dengan menggunakan metode pelindian. Penelitian mengenai konversi silika dari abu sekam padi dengan metode ekstraksi menggunakan asam klorida memperoleh kandungan silika sebesar 98,74 %.

Penelitian mengenai pemisahan logam-logam dengan menggunakan asam juga telah dilakukan. Dari penelitian tersebut didapatkan jumlah peningkatan kadar logam setelah dilindi menggunakan HCl 4,8 M yaitu Ca sebesar 34,9%, Cu sebesar 49,3%, Fe sebesar 50,1%, Mg sebesar 14,4 % dan Zn sebesar 49,2 %. Metode pelindian juga pernah dilakukan pada mineral saponite dengan menggunakan HCl 0,17 M didapatkan jumlah oksida logam yang larut pada proses pelindian yaitu CaO sebesar 75,31%, Fe₂O₃ sebesar 3,93% dan MgO sebesar 31,67%. Sedangkan untuk penggunaan HCl 0,34 M didapatkan jumlah oksida logam yang larut pada proses pelindian yaitu CaO sebesar 77,83%, Fe₂O₃ sebesar 8,36% dan MgO sebesar 41,37%. Berdasarkan hasil tersebut terlihat bahwa pada proses pelindian, asam memberikan pengaruh yang berbeda untuk masing-masing logam (Lestari et.al., 2017).

Pemanfaatan proses AAL ini dinilai efektif dari sisi penghematan energi dan kemurnian produk yang dihasilkan (McDonald & Whittington, 2008). Oleh karena itu, proses AAL ini diharapkan dapat diaplikasikan dalam skala industri di

sehingga dapat dimanfaatkan secara lebih efektif dan efisien. Beberapa pelindian menggunakan asam telah dilakukan seringkali dengan akan asam sulfat. Keberadaan SO₂ sebagai reduktan secara efektif dapat



meningkatkan persentase pelindian hingga 97%. Untuk meningkatkan efektifitas pelindian dengan metode AAL dapat ditambahkan senyawa natrium sulfit dan amonium biflorid.

Pelindian menggunakan asam klorida juga banyak menarik perhatian karena memungkinkan ekstraksi tembaga dalam jumlah besar dalam waktu yang singkat. Proses pelindian berbasis klorida memiliki beberapa keuntungan dibandingkan proses hidrometalurgi konvensional yaitu hasil pelindian lebih tinggi, stabilitas tinggi dari kompleks kloro, dan regenerasi pereaksi pelindian (Permana dkk., 2020).

