

# **SKRIPSI**

## **STUDI EKSTRAKSI TEMBAGA DARI BIJIH OKSIDA DENGAN MENGUNAKAN PELARUT ASAM SITRAT**

(Studi Kasus: Endapan Tembaga Oksida Kecamatan Ponre, Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan)

**Disusun dan diajukan oleh**

**MUKHLIS**

**D111181306**



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2022**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

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

(Studi Kasus: Endapan Tembaga Oksida Kecamatan Ponre, Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan)

**Disusun dan diajukan oleh**

**MUKHLIS**

**D111181306**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 14 Oktober 2022

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

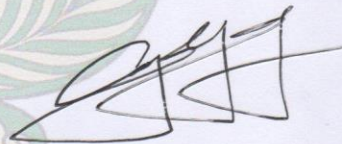
Pembimbing Utama,



Dr. Sufriadin, ST., M.T.

NIP. 196608172000121001

Pembimbing Pendamping,



Asta Arjunoarwan Hatta, S.T., M.T.

NIP. 199511262022043001

Ketua Program Studi,



Asran Ilyas, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 197303142000121001



## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mukhlis  
NIM : D111181306  
Program Studi : Teknik Pertambangan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

**STUDI EKSTRAKSI TEMBAGA DARI BIJIH OKSIDA DENGAN MENGGUNAKAN  
PELARUT ASAM SITRAT**

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

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Oktober 2022

Yang menyatakan



Mukhlis

## ABSTRAK

Bijih tembaga oksida merupakan bijih tembaga sekunder dengan proporsi tembaga yang lebih rendah namun memiliki cadangan yang besar dibandingkan dengan bijih sulfida. Pelindian tembaga dari bijih oksida menggunakan asam organik yaitu asam sitrat merupakan pendekatan baru karena pada umumnya menggunakan asam sulfat memiliki efek negatif terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik mineralogi dan kimia bijih tembaga oksida dan menganalisis pengaruh waktu serta konsentrasi asam dari proses pelindian menggunakan asam sitrat. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode mikroskop dan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk analisis mineralogi, serta metode *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS) untuk analisis kadar tembaga. Ekstraksi tembaga dari bijih oksida menggunakan metode pelindian pada tekanan atmosfer. Hasil analisis XRD dan mikroskop menunjukkan bahwa mineral yang terdapat pada bijih tembaga oksida terdiri dari beberapa mineral pembawa tembaga seperti kalkopirit, kovelit, malasit, pseudomalasit, dan langit serta mineral seperti kuarsa kaolinit, kamosit, maghemit, goetit, dan hematit juga ditemukan sebagai pengotor. Berdasarkan hasil percobaan pelindian bijih tembaga dengan asam sitrat diperoleh *recovery* tertinggi berdasarkan kedua variabel yakni masing-masing pada konsentrasi pelarut 0,5 M yaitu sebesar 19,07% dan 22,88% dengan waktu pelindian 4 jam.

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

## **ABSTRACT**

*Copper oxide ore is a secondary copper ore with a lower proportion of copper but has large reserves compared to sulfide ore. Leaching copper from oxide ores using an organic acid, namely citric acid, is a new approach because at generally use sulfuric acid which has a negative effect on the environment. This study aims to determine the mineralogical and chemical characteristics of copper ore oxide and analyze the effect of time and acid concentration of the leaching process using citric acid. The analytical methods used in this study were the microscope and X-Ray Diffraction (XRD) method for mineralogy analysis, and the Atomic Absorption Spectrometry (AAS) method for copper content analysis. Extraction of copper from oxide ores using method is atmospheric leaching. The result of XRD and microscopic analysis showed that the minerals containing in the copper oxide ore consist of several copper bearing minerals such as chalcopyrite, covellite, malachite, pseudomalachite, and langite, other minerals such as quartz, kaolinite, chamosite, maghemite, goethite, and hematite are also present as gangue. Based on the experimental results of copper leaching from oxide ore using citric acid, the highest recovery was obtained based on the two variables, namely at a solvent concentration of 0.5 M, which was 19.07% and 22.88% at a leaching time of 4 hours respectively.*

*Keywords: Citric acid, oxide ore, leaching, copper.*

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh*

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan atas hidayah Allah SWT yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Studi Ekstraksi Tembaga Dari Bijih Oksida Dengan Menggunakan Pelarut Asam Sitrat”**. Sholawat serta salam dihaturkan kepada baginda Rasulullah SAW. sang pemimpin dan sang teladan yang baik yang telah memimpin umat manusia dalam menegakkan agama Islam di muka bumi.

Tugas akhir ini merupakan 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 di Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

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 Bapak Asran Ilyas, S.T., M.T., Ph.D. 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 I dan Bapak Asta Arjunoarwan Hatta, S.T., M.T. sebagai pembimbing II yang senantiasa meluangkan waktu, tenaga, pikiran, serta motivasi bagi penulis. Terima kasih kepada Bapak Dr.phil.nat Sri Widodo, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, M.T. selaku dosen penguji. Terima kasih 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 saudara seperjuangan TUNNEL 2018 yang senantiasa memberikan dukungan dan selalu mengisi hari-hari menjadi sangat menyenangkan, serta kepada seluruh anggota Laboratorium Analisis dan Pengolahan Bahan Galian terkhusus kepada kanda Akmal Saputno, S.T., yang senantiasa membantu dan memberikan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Terima kasih Kepada keluarga besar Ayahanda Alm. Drs. Bakri, dan Keluarga Besar Ibunda Nurhayati, S.Sos. tercinta serta kakak Verdyantono, S.Pd. yang senantiasa memberikan dukungan, doa, dan semangat kepada penulis selama menempuh pendidikan di Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Terkhusus untuk Megawati Cahaya Putri A. Torano terimakasih karena senantiasa memberikan semangat dan dukungan kepada penulis.

Kesempurnaan itu hanya milik Allah SWT., jikalau ada kesalahan itu semata-mata dari penulis. 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, Aamiin.

*Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh*

Makassar, Oktober 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN .....	iii
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i> .....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Tahapan Kegiatan Penelitian.....	3
1.6 Lokasi Pengambilan Sampel.....	6
BAB II PELINDIAN BIJIH TEMBAGA.....	7
2.1 Tembaga .....	7
2.2 Bijih Tembaga .....	10
2.3 Pengolahan dan Ekstraksi Tembaga dari Bijihnya.....	18
2.4 Pelindian dengan Asam Sitrat .....	24
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Persiapan .....	27



3.2	Variabel Penelitian .....	28
3.3	Prosedur Penelitian .....	29
3.4	Diagram Alir Penelitian .....	42
BAB IV EKSTRAKSI BIJIH TEMBAGA OKSIDA DENGAN ASAM SITRAT .....		43
4.1	Karakteristik Bijih Tembaga Oksida Daerah Penelitian .....	43
4.2	Analisis Residu dan <i>Pregnant Solution</i> Hasil Pelindian .....	48
BAB V KESIMPULAN .....		55
5.1	Kesimpulan .....	55
5.2	Saran .....	55
DAFTAR PUSTAKA .....		57
LAMPIRAN .....		60

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Peta lokasi pengambilan sampel .....	6
2.1 Penggunaan utama tembaga .....	9
2.2 Skema proses flotasi tembaga .....	19
2.3 Bagan alir proses pirometalurgi ekstraksi tembaga .....	20
2.4 Bagan alir proses hidrometalurgi ekstraksi tembaga .....	22
2.5 Pengolahan tembaga pirometalurgi dan hidrometalurgi,.....	23
2.6 Struktur molekul asam sitrat .....	25
3.1 Pengambilan sampel bijih tembaga .....	30
3.2 Sampel sayatan poles.....	31
3.3 Sampel bubuk .....	31
3.4 Proses pengeringan sampel .....	32
3.5 Proses mereduksi ukuran sampel.....	33
3.6 Proses pengayakan sampel .....	33
3.7 Proses pengeringan sampel menggunakan oven .....	34
3.8 Proses penimbangan sampel .....	34
3.9 Proses menyiapkan percobaan pelindian .....	35
3.10 Proses pelindian sampel bijih tembaga oksida .....	37
3.11 Proses penyaringan larutan hasil pelindian.....	38
3.12 Larutan pregnant solution hasil pelindian .....	38
3.13 Analisis menggunakan mikroskop Nikon Eclipse LV-100 POL .....	39
3.14 XRD tipe shimadzu maxima-X XRD 7000.....	40
3.15 AAS Buck Scientific 205 Version 3.94C.....	41
3.16 Bagan alir penelitian.....	42

4.1 Kenampakan lapangan endapan bijih tembaga daerah penelitian.....	44
4.2 Kenampakan mineral sampel hasil analisis mikroskopis .....	45
4.3 Hasil analisis XRD sampel awal.....	46
4.4 Hasil XRD sampel dan residu hasil pelindian .....	49
4.5 Grafik hubungan <i>recovery</i> Cu dengan konsentrasi asam sitrat .....	51
4.6 Grafik hubungan <i>recovery</i> Cu dengan waktu ekstraksi .....	53

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Sifat fisik tembaga .....	7
2.2 Pemanfaatan dan kegunaan tembaga .....	10
2.3 Mineral ekonomis pembawa tembaga .....	11
2.4 Gambaran deposit profil tembaga .....	17
2.5 Pemrosesan dan rentang waktu untuk metode pelindian yang berbeda untuk bijih tembaga oksida .....	24
4.1 Nilai d mineral yang terdapat dalam sampel.....	47
4.2 Hasil analisis awal kadar Cu sampel awal menggunakan AAS.....	47
4.3 Hasil analisis kadar Cu <i>pregnant solution</i> berdasarkan konsentrasi asam sitrat ....	50
4.4 <i>Recovery</i> Cu berdasarkan konsentrasi asam sitrat .....	51
4.5 Hasil analisis kadar Cu bijih tembaga oksida berdasarkan lama waktu ekstraksi ....	53
4.6 <i>Recovery</i> Cu berdasarkan lama waktu ekstraksi .....	53

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A. Hasil Analisis Mikroskopis .....	61
B. Hasil Analisis XRD .....	66
C. Hasil Analisis AAS.....	75
D. Perhitungan Pengenceran Asam Sitrat.....	78
E. Perhitungan Kadar Cu.....	81
F. Perhitungan <i>Recovery Cu</i> .....	85
G. Kartu Konsultasi Tugas Akhir .....	88



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Tembaga dikenal sebagai salah satu logam yang paling umum digunakan di dunia. Tembaga banyak digunakan dalam industri listrik dan elektronik karena konduktivitasnya yang tinggi. Selain itu, tembaga dan paduannya digunakan dalam industri elektroteknik, mesin, komunikasi, dan penerbangan, untuk produksi dan distribusi listrik, dalam perangkat pengukuran, dalam industri kimia, dan lain-lain (Arzutug *et. al.*, 2004).

Logam tembaga sebagian besar ditemukan dalam kerak bumi sebagai mineral-mineral tembaga besi-sulfida seperti kalkopirit ( $\text{CuFeS}_2$ ) dan bornit ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ) serta mineral-mineral tembaga sulfida seperti kalkosit ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) dan kovelit ( $\text{CuS}$ ). Selain itu, tembaga dalam jumlah yang lebih sedikit juga ditemukan dalam bentuk mineral-mineral oksida, natif, silikat, karbonat dan sulfat (Schlesinger *et. al.*, 2011). Jenis bijih tembaga yang paling umum yakni bijih tembaga sulfida dan bijih tembaga oksida diproses dengan dua metode yang berbeda, masing-masing pirometalurgi dan hidrometalurgi, karena kimia bijih yang berbeda.

Bijih tembaga oksida merupakan bijih tembaga sekunder yang kurang menarik sebagai target eksplorasi seperti bijih sulfida karena dianggap sebagai bijih bermutu rendah, dengan proporsi tembaga yang lebih rendah (Lusty & Hannis, 2009). Namun, beberapa kasus, bijih tembaga oksida kadar rendah masih dapat ditambang secara ekonomis karena jumlah yang lebih melimpah meskipun membutuhkan lebih banyak bijih untuk diekstraksi dan diproses dibandingkan dengan bijih sulfida. Disisi lain, meskipun bijih tembaga sulfida kurang melimpah, mereka mengandung jumlah

tembaga yang lebih tinggi. Meskipun biaya pemrosesan lebih tinggi, pada akhirnya lebih banyak tembaga yang dapat diekstraksi.

Bijih tembaga oksida seperti malasit ( $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ), azurit ( $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ ), tenorit ( $\text{CuO}$ ), dan krisokola ( $\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) umumnya diproses menggunakan hidrometalurgi karena dapat benar-benar larut dalam media asam atau basa pada suhu kamar. Agen pelindian yang paling umum untuk bijih tembaga oksida untuk proses ekstraksi hidrometalurgi adalah asam kuat seperti  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (Bingöl *et. al.*, 2005). Namun, sebagian besar asam ini menyebabkan pencemaran lingkungan. Asam organik seperti asam sitrat, asetat atau oksalat dapat menjadi agen pelindian alternatif karena pelindian dilakukan pada kondisi asam sedang dan tidak mencemari lingkungan, serta mungkin merupakan agen pelindian yang lebih selektif daripada asam anorganik meskipun kemampuan melarutkannya lemah (Tanaydin *et. al.*, 2020).

Penelitian mengenai proses pelindian tembaga dengan menggunakan pelarut organik asam sitrat dilakukan dengan konsentrasi asam 0,1 M hingga 1 M dengan waktu ekstraksi 30 menit hingga 240 menit dapat mengekstrak 30% hingga 92% tembaga dari bijih malasit (Shabani *et. al.*, 2012). Penelitian mengenai pengaruh suhu juga telah dilakukan dengan konsentrasi asam sitrat 0,5 M dapat mengekstrak hingga 97% tembaga pada suhu  $40^\circ\text{C}$  sampai  $80^\circ\text{C}$  (Habbache *et. al.*, 2009). Penelitian menggunakan *slag* tembaga hasil peleburan dengan konsentrasi asam sitrat 2 M dengan waktu ekstraksi 15 jam pada suhu  $35^\circ\text{C}$  dapat mengekstrak 4,47% tembaga (Meshram *et. al.*, 2017).

Berdasarkan hal tersebut diatas penelitian ini akan membahas tentang pengolahan bijih tembaga oksida dengan metode pelindian menggunakan asam (*acid leaching technology*) yang merupakan salah satu metode hidrometalurgi dengan menggunakan asam lemah yaitu asam sitrat.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana karakteristik mineralogi dan kimia sampel bijih tembaga oksida.
2. Bagaimana pengaruh variabel konsentrasi asam sitrat terhadap perolehan (*recovery*) tembaga.
3. Bagaimana pengaruh variabel waktu terhadap perolehan (*recovery*) tembaga.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik mineralogi dan kimia sampel bijih tembaga oksida.
2. Menganalisis pengaruh konsentrasi asam sitrat terhadap perolehan (*recovery*) tembaga.
3. Menganalisis pengaruh variabel waktu pelindian terhadap perolehan (*recovery*) tembaga.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk memberikan informasi mengenai alternatif lain dalam pengolahan dan ekstraksi tembaga kadar rendah yang berasal dari bijih oksida sehingga dapat diolah dan diekstraksi secara efektif.

## **1.5 Tahapan Kegiatan Penelitian**

Penelitian ini dilakukan selama kurun waktu 4 bulan selama bulan Maret sampai bulan Agustus 2022 yang dilaksanakan di Departemen Teknik Pertambangan Fakultas

Teknik Universitas Hasanuddin. Adapun tahapan kegiatan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Persiapan

Persiapan merupakan kegiatan yang dilakukan sebelum penelitian. Tahapan ini merupakan tahapan perumusan masalah yang akan diangkat dalam penelitian, persiapan administrasi terkait penelitian, pengumpulan literatur atau referensi yang menunjang penelitian, serta persiapan alat dan bahan yang akan digunakan selama 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. Pengambilan sampel

Pengambilan sampel bijih tembaga oksida dilakukan pada endapan tembaga oksida yang terletak di Desa Samaenre, Kecamatan Tonra, Kabupaten Bone. Secara geografis dibatasi oleh titik koordinat  $X= 120^{\circ}17'11.22''E$ ,  $Y= 4^{\circ}51'31.98''S$ . Sampling dilakukan dengan metode *selected sampling*.

4. 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 untuk mengamati

komposisi mineral dalam skala mikroskopis. Serta, preparasi sampel bubuk yang terdiri dari proses pengeringan, reduksi ukuran, dan pengayakan. Sampel bubuk ini digunakan untuk analisis XRD yang bertujuan mengetahui komposisi mineral yang sampel, analisis AAS bertujuan mengetahui konsentrasi yang terkandung dalam sampel, serta sampel bubuk juga digunakan untuk keperluan pelindian.

#### 5. Pengolahan data

Tahapan pengolahan data ini meliputi pengumpulan data-data hasil analisis dan dilanjutkan dengan mengolah data tersebut sehingga diperoleh hasil pemecahan masalah dalam penelitian ini. 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.

#### 6. Penyusunan laporan tugas akhir

Tahapan akhir dari penelitian adalah penyusunan laporan tugas akhir. Seluruh hasil penelitian dilaporkan secara sistematis mengikuti format yang telah ditentukan oleh Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang tertuang dalam buku putih skripsi.

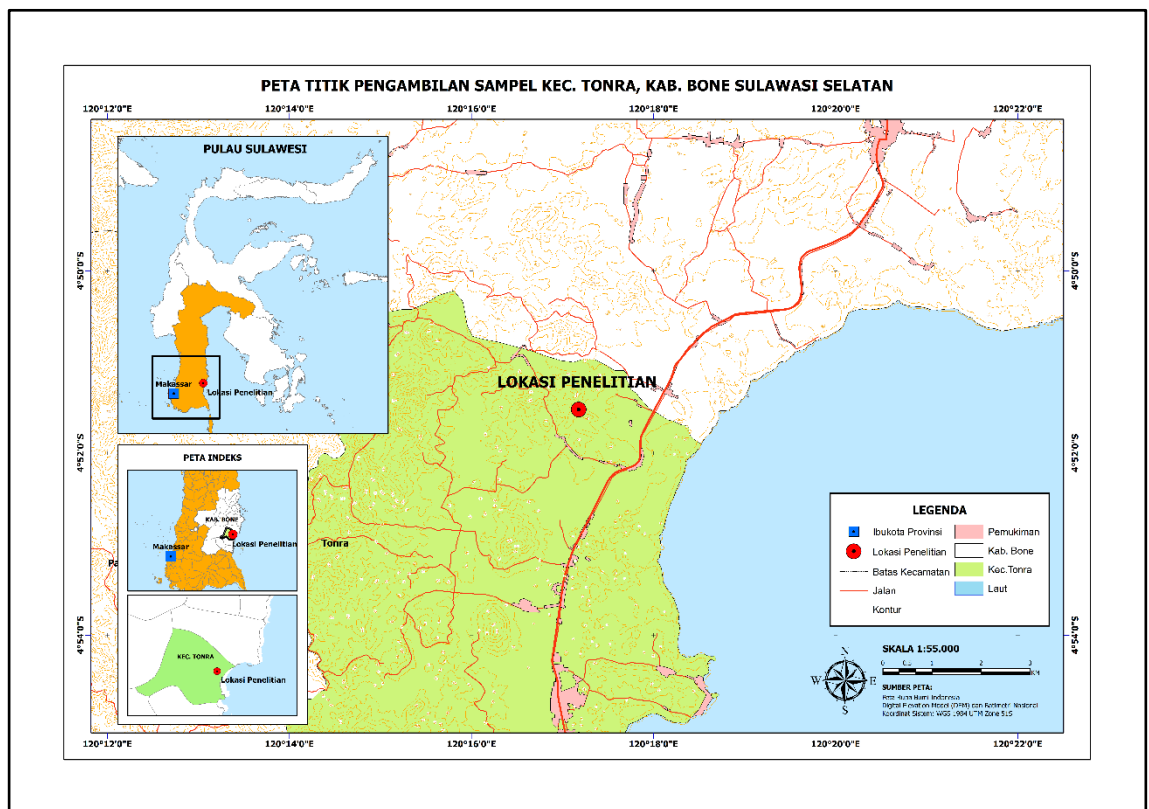
#### 7. Seminar dan penyerahan laporan

Laporan tugas akhir kemudian dipresentasikan dalam seminar hasil dan ujian siding. Kerangka dan hasil penelitian dipaparkan di hadapan dosen pembimbing, dosen penguji dan mahasiswa. Melalui tahapan ini akan didapatkan saran dan masukan dari audiensi untuk perbaikan dan menyempurnakan laporan tugas akhir. Laporan tugas akhir yang telah direvisi selanjutnya diserahkan ke Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin.



## 1.6 Lokasi Pengambilan Sampel

Secara administratif lokasi pengambilan sampel terletak di Desa Samaenre, Kecamatan Tonra, Kabupaten Bone. Secara geografis dibatasi oleh titik koordinat X= 120°17'11.22"E, Y= 4°51'31.98"S. Lokasi ini berjarak ±46 km dari Watampone ibukota Kabupaten Bone. Lokasi ini dapat ditempuh dengan perjalanan darat menggunakan sepeda motor ataupun mobil selama ±1 jam dari Watampone. Peta Lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Peta lokasi pengambilan sampel

## BAB II

### PELINDIAN BIJIH TEMBAGA

#### 2.1 Tembaga

Tembaga adalah logam dasar *non-ferrous* dan konsentrasi rata-rata di kerak bumi adalah sekitar 50 ppm (*parts per million*). Nilai rata-rata minimum yang dapat dieksploitasi untuk deposit tembaga adalah 0,4 % yang setara dengan faktor konsentrasi sekitar 80 ppm berdasarkan kelimpahan rata-rata kerak. Tembaga terdapat secara alami di semua tumbuhan dan hewan, karena merupakan elemen penting untuk semua organisme hidup. Tembaga merupakan salah satu logam transisi dalam tabel periodik yang berarti dapat membentuk senyawa, seperti kalkopirit bijih tembaga utama ( $\text{CuFeS}_2$ ), dan ion tembaga ( $\text{Cu}^+$  atau  $\text{Cu}^{2+}$ ) dalam larutan. Logam tembaga memiliki karakteristik warna coklat kemerahan, dengan kilau logam pada permukaan segar. Namun, dengan cepat teroksidasi di udara, fitur dari semua logam dasar. Tembaga relatif lunak (2,5–3,0 pada skala kekerasan Mohs) Sifat fisik lainnya dirangkum dalam Tabel 2.1 (Lusty & Hannis, 2009).

Tabel 2.1 Sifat fisik tembaga (Lusty & Hannis, 2009)

Sifat Fisik	Keterangan	Satuan
Simbol	Cu	
Nomor Atom	29	
Berat Atom	63,546	
Densitas (293 K)	8,960	$\text{g/cm}^3$
Titik Lebur	1083	$^{\circ}\text{C}$
Titik Didih	2567	$^{\circ}\text{C}$
Kapasitas Panas Spesifik (293 K)	386	J/Kg
Konduktivitas listrik	100	% (International Annealed Copper Standard)

Sifat Fisik	Keterangan	Satuan
Konduktivitas listrik (298 K)	$5.98 \times 10^7$	$\text{Ohm}^{-1}\text{m}^{-1}$
Resistivitas listrik	$1.673 \times 10^{-8}$	Ohm m
Modulus elastisitas Young	$110 \times 10^9$	$\text{N m}^{-2}$
Struktur Kristal	<i>Face Centered Cubic</i>	

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

1. Konduktivitas listrik yang baik

Tembaga memiliki konduktivitas listrik terbaik dari logam apa pun, 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 logam yang lain kecuali perak.

3. Tahan korosi

Tembaga merupakan logam yang tahan lama karena memiliki reaktivitas yang rendah.

4. Antimikroba

Tembaga secara inheren bersifat antimikroba, artinya dengan cepat akan membunuh bakteri, virus, dan jamur yang mengendap di permukaannya. Properti ini mengarah pada pemasangan permukaan yang terbuat dari tembaga pada alat-alat kesehatan.

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), Nikel-Perak (dipadukan dengan Nikel dan Seng), Gunmetal (dipadukan dengan Timah, Seng dan Timbal), dan Tembaga berilium (dipadukan dengan Berilium).

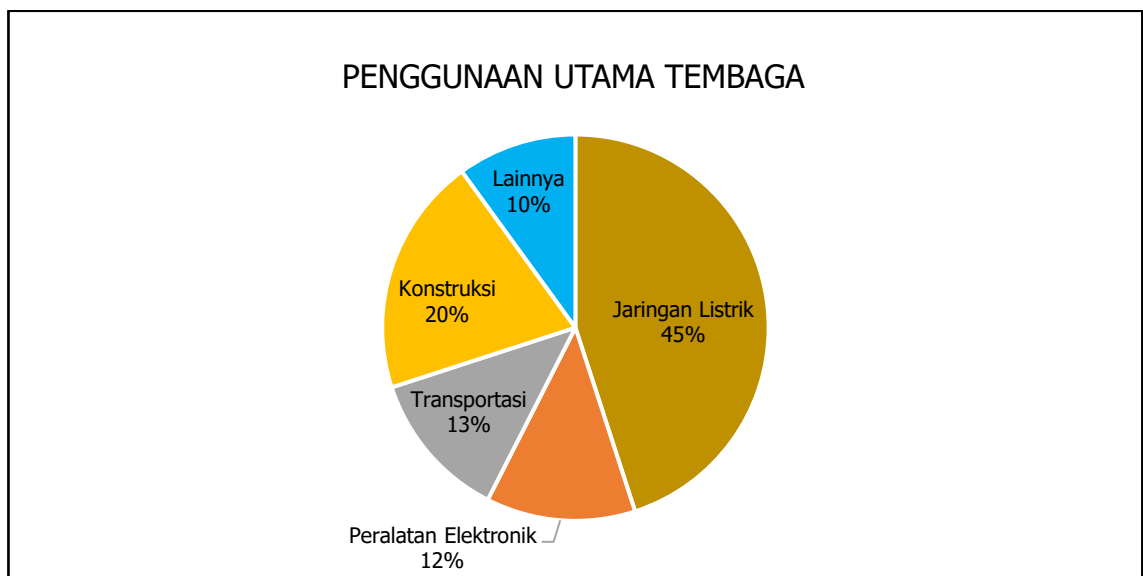
6. Elastis

Tembaga adalah logam yang elastis. Ini berarti dapat dengan mudah dibentuk menjadi pipa dan ditarik menjadi kabel.

7. Dapat didaur ulang tanpa batas 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.

Tembaga adalah salah satu logam pertama yang diekstraksi dan digunakan oleh manusia, dan telah memberikan kontribusi penting untuk mempertahankan dan meningkatkan masyarakat sejak awal peradaban. Sehingga tembaga penting bagi manusia dari zaman dulu dan terus menjadi bahan pilihan untuk berbagai aplikasi rumah tangga, industri, dan teknologi tinggi saat ini.



Gambar 2.1 Penggunaan utama tembaga (ICA/IWCC, 2022)

Saat ini, tembaga digunakan dalam konstruksi bangunan, pembangkit listrik dan transmisi, manufaktur produk elektronik, dan produksi mesin industri dan kendaraan transportasi. Kabel tembaga dan pipa merupakan bagian utama dari peralatan, sistem pemanas dan pendingin, dan jaringan telekomunikasi yang kita gunakan setiap hari.

Tabel 2.2 Pemanfaatan dan kegunaan tembaga (CDA, 2010)

Pemanfaatan	% dari total penggunaan
Konduktivitas listrik	63
Logam Tahan korosi	18
Konduktivitas termal	11
Sifat mekanik dan struktural	6
Estetika	2
<b>Aplikasi</b>	
Kawat bangunan	23
Pipa dan pemanas	13
Otomotif	10
AC, pendingin, & gas alam	10
Alat Pembangkit listrik	9
Telekomunikasi	6
Peralatan pabrik	5
Artileri	3
Bisnis elektronik	2
Perangkat penerangan dan kabel	2
Lain-lain	17

## 2.2 Bijih Tembaga

Tembaga bergabung dengan sejumlah elemen dan lebih dari 150 mineral tembaga telah diidentifikasi, meskipun hanya sejumlah kecil yang penting secara ekonomi (Tabel 2.3). Mineral tembaga dapat dibagi menjadi tiga kelompok. Mineral primer atau hipogen yang terkait dengan proses hidrotermal meliputi bornit, kalkopirit, dan enargit. Kelompok kedua adalah tembaga oksida, biasanya terbentuk dari pelapukan tembaga sulfida, yang meliputi kuprit, malasit, krisokola dan azurit. Kelompok ketiga adalah sulfida sekunder, seperti kalkosit dan kovelit, yang terbentuk



dekat permukaan. Deposit tembaga sulfida yang tersebar mendominasi produksi tembaga global. Perkiraan menunjukkan setidaknya 90% dari tembaga berasal dari deposit sulfida. Dari mineral sulfida, kalkopirit sejauh ini merupakan yang paling penting untuk sekitar setengah dari semua produksi tembaga. Deposit tembaga ditemukan di seluruh dunia dalam berbagai lingkungan geologis. Endapan hidrotermal paling signifikan dalam skala global, terdapat pula endapan magmatik dan supergen (Tabel 2.4). Banyak jenis deposit mineral lainnya mengandung tembaga dalam jumlah yang bervariasi, namun ini memiliki kepentingan ekonomi yang terbatas (Lusty & Hannis, 2009).

Tabel 2.3 Mineral ekonomis pembawa tembaga (Schlesinger *et. al.*, 2011)

Tipe	Mineral umum	Rumus kimia	% Cu teoritis
<b>Mineral sulfida primer</b>			
Hipogen sulfida	Kalkopirit	$\text{CuFeS}_2$	34.6
	Bornit	$\text{Cu}_5\text{FeS}_4$	63.3
<b>Mineral sekunder</b>			
Supergen sulfida	Kalkosit	$\text{Cu}_2\text{S}$	79,9
	Kovelit	$\text{CuS}$	66,5
	Digenit	$\text{Cu}_{1.8}\text{S}$	78.1
Tembaga natif	Metal	$\text{Cu}$	100
Karbonat	Malasit	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	57,5
	Azurit	$(\text{CuCO}_3)_2 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	55.3
Hidroksi-silikat	Krisokola	$\text{CuO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	36.2
Oksida	Kuprit	$\text{Cu}_2\text{O}$	88,8
	Tenorit	$\text{CuO}$	79,9
Sulfat	Antlerit	$\text{CuSO}_4 \cdot 2\text{Cu}(\text{OH})_2$	53,7
	Brokantit	$\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$	56,2

### 2.2.1 *Porphyry deposits*

Deposit tembaga porfiri saat ini merupakan sumber utama tembaga dunia (50-60% dari produksi dunia), molibdenum (99% dari produksi dunia) dan renium. Deposit tembaga porfiri juga merupakan sumber emas, perak dan timah yang signifikan dan berbagai produk sampingan logam. Endapan porfiri diasosiasikan dengan subduksi, felsik, intrusi batuan beku. Akibatnya mereka terjadi di daerah tumbukan batas

lempeng seperti Cordillera Kanada, Pegunungan Andes dan di sekitar batas barat Cekungan Pasifik di Filipina, Indonesia dan Papua Nugini. Mineralisasi ini dikendalikan oleh rekahan, biasanya terdiri dari *stockwork* urat kuarsa dan breksi yang mengandung sulfida tembaga dengan emas dan/atau molibdenum. Mineralisasi dapat berkembang baik pada batuan intrusi maupun *hostrock*-nya, biasanya berasosiasi dengan inti alterasi yang keluar ke zona yang berbeda yang dicirikan oleh mineral alterasi sekunder lainnya. Mineralisasi dapat menempati beberapa km<sup>3</sup> dan endapan biasanya mengandung ratusan juta ton bijih, meskipun ukurannya dapat berkisar dari puluhan juta hingga milyaran ton. Nilai tembaga umumnya berkisar dari 0,2 % hingga lebih dari 1 % (Lusty & Hannis, 2009).

#### 2.2.2 *Sediment-hosted deposits*

Deposit sedimen adalah sumber tembaga terpenting kedua di dunia yang menyumbang sekitar 20% dari produksi dunia. Mereka juga merupakan sumber penting timbal, seng dan perak dan sumber utama kobalt dunia, terutama dari Copperbelt Afrika Tengah. Endapan terdiri dari penyebaran sulfida berbutir halus di berbagai batuan sedimen kontinental termasuk serpih hitam, batupasir dan batugamping. Tonase endapannya bervariasi dengan rata-rata 22 juta ton dengan kadar 2,1% Cu dan 23 gr/ton Ag (Mosier *et. al.*, 1986).

#### 2.2.3 *Red-bed copper deposits*

Terdapat dua jenis endapan *red-bed deposits* yaitu vulkanik dan sedimen. Endapan vulkanik terjadi pada aliran lava terestrial mafik dan batuan sedimen vulkanik klastik terkait dengan sulfida yang disebarkan melalui *hostrock* permeabel atau rongga pengisi. Endapan sedimen terbentuk dalam sedimen kontinental merah yang diendapkan di lingkungan pengoksidasi dan terdiri dari sulfida yang diendapkan dalam lapisan permeabel di *hostrock*. Diperkirakan bahwa tembaga diendapkan dalam endapan ini ketika cairan kaya oksigen naik melalui zona permeabel dan menemukan

bahan yang tereduksi seperti bahan organik dan pirit. Tonase berkisar dari ratusan ribu hingga ratusan juta ton, biasanya dengan kadar sekitar 1 % hingga 4 % tembaga (Lusty & Hannis, 2009).

#### 2.2.4 *Volcanogenic massive sulphide (VMS) deposits*

Deposit VMS merupakan sumber penting tembaga dan banyak logam lainnya karena distribusinya yang luas, tonase yang substansial (0,1–500 juta ton) dan kadar yang relatif tinggi. Logam mulia, termasuk perak dan emas, adalah produk sampingan yang umum. Endapan ini terbentuk dari spektrum proses vulkanik dan hidrotermal, mencakup komposisi kimia yang luas, terjadi dalam berbagai pengaturan tektonik, dan biasanya menunjukkan kontras yang mencolok dalam karakteristik fisik antara tubuh bijih dan *hostrock*-nya. Endapan sulfida masif volkanogenik diperkaya dengan Cu, Pb, Zn, Au, dan Ag. Sekitar 1.100 deposit VMS telah diidentifikasi di seluruh dunia dengan perkiraan total sumber daya sekitar 10 miliar ton. Deposit VMS dapat dibagi menjadi tiga kategori utama berdasarkan mineraloginya yaitu jenis Kuroko, Besshi dan Siprus. Deposito sangat bervariasi dalam ukuran tetapi umumnya kadar tinggi dan tonase rendah (Mosier *et. al.*, 2009).

#### 2.2.5 *Magmatic sulphide deposits*

Merupakan kumpulan beragam endapan yang mengandung tembaga yang berasosiasi dengan nikel dan *platinum-group elements* (PGE) yang terjadi karena konsentrasi sulfida di dalam batuan mafik dan ultrabasa. Saat magma naik melalui kerak itu mendingin dan, jika kandungan belerang dari magma cukup, fase sulfida cair yang terpisah dapat berkembang (tetesan cairan sulfida dalam cairan silikat). Unsur-unsur seperti nikel, tembaga, PGE dan besi secara istimewa berpindah ke fase sulfida dari magma sekitarnya. Cairan sulfida yang kaya logam cenderung tenggelam karena kepadatannya yang lebih besar, membentuk konsentrasi sulfida di lantai dapur magma. Deposit di seluruh dunia biasanya memiliki kadar antara 0,2 dan 2% Cu

dengan tonase bijih mulai dari beberapa ratus ribu hingga puluhan juta ton. Endapan magmatik sulfida nikel-tembaga terbesar berumur Archean (4000–2500 juta tahun) dan Proterozoikum (2500–540 juta tahun) (Lusty & Hannis, 2009).

Berdasarkan produksi logam utamanya, endapan sulfida magmatik dalam batuan mafik dapat dibagi menjadi dua jenis utama yang kaya sulfida, biasanya dengan 10 % hingga 90 % mineral sulfida, dan memiliki nilai ekonomi terutama karena kandungan Ni dan Cu-nya, dan yang miskin sulfida, biasanya dengan 0,5 % hingga 5 % mineral sulfida, dan dieksploitasi terutama untuk PGE (Naldbett *et. al.*, 1992).

#### 2.2.6 *Sedimentary exhalative deposits* (SEDEX)

Deposit ini merupakan sumber dari timbal, seng dan perak. Tetapi untuk tembaga hanya merupakan produk sampingan dalam beberapa deposit. SEDEX adalah endapan yang terbentuk oleh ekshalasi air asin ke dalam air laut atau sedimen dasar laut, menyebabkan pengendapan kimiawi mineral saat air asin mendingin. Endapan SEDEX menunjukkan banyak kesamaan dengan endapan VMS, kecuali kurangnya asosiasi vulkanik yang dekat. Endapan biasanya diwakili oleh lembaran atau lensa tabular yang terdiri dari pita sulfida berbutir halus yang diselingi dengan batuan serpih, lanau, dan *hostrock* karbonat. Badan sulfida umumnya hanya berukuran beberapa meter tetapi dapat memanjang secara lateral lebih dari satu kilometer. Rata-rata tonase untuk deposit global adalah 15 juta ton dengan kadar 5,6% Zn, 2,8% Pb dan 30 g/t Ag. Deposit endapan ini diperkirakan hanya mengandung 1% tembaga. (Briskey, 1986).

#### 2.2.7 *Epithermal deposits*

Endapan epitermal merupakan endapan penting untuk produksi emasnya dan juga mengandung logam lain seperti perak, tembaga, dan logam lainnya. Endapan diasosiasikan dengan lingkungan terkait subduksi pada batas lempeng. Endapan ini dapat berbentuk urat, *stockworks* atau breksi dan umumnya berumur Tersier (63–2

juta tahun) hingga Kuartar (2 juta tahun hingga sekarang). Endapan ini biasanya terbentuk pada zona kerak dangkal (300-600 m) oleh sirkulasi cairan magmatik melalui batuan vulkanik. Mineral bijih utama termasuk kalkosit, kovellit, bornit dan emas nativ dengan sejumlah kecil kalkopirit. Ada variasi yang cukup besar dalam kadar dan tonase endapan ini tetapi mereka bisa sangat kaya, mis. El Indio, Chili dengan kadar hingga 178 gr/t Au, 109 gr/t Ag dan 3,87% Cu (Panteleyev, 1996).

#### 2.2.8 *Skarn deposits*

Endapan skarn adalah salah satu jenis bijih yang melimpah di kerak bumi dan terbentuk dalam batuan hampir semua umur. Endapan skarn biasanya dibentuk oleh interaksi *hostrock* pembawa karbonat dan cairan hidrotermal magmatik. Untuk tujuh jenis skarn utama Fe, Au, Cu, Zn, W, Mo, dan Sn merupakan sumber penting penghasil Fe, Cu, Pb, Zn, dan Au. Dibandingkan dengan skarn Fe-Cu proksimal, skarn Pb-Zn terbentuk pada jarak yang relatif jauh dari batuan magmatik, sehingga terbentuk di lingkungan suhu yang lebih rendah (Meinert *et. al.*, 2005).

Endapan skarn berbentuk sangat bervariasi dari lensa tabular hingga pipa vertikal dengan zona bijih tidak beraturan yang dikendalikan oleh kontak intrusif. Skarn tembaga terbesar dikaitkan dengan endapan tembaga porfiri. Mineralisasi tembaga hadir sebagai *stockwork veining* dan diseminasi baik di batuan intrusi maupun di sekitarnya. Kalkopirit cenderung menjadi mineral tembaga yang dominan, terjadi dengan bornit dan tennanit. Secara global, skarn tembaga rata-rata 1 % hingga 2 % tembaga, umumnya berkisar antara satu hingga seratus juta ton, meskipun beberapa deposit biasa melebihi 300 juta ton (Lusty & Hannis, 2009).

#### 2.2.9 *Vein deposits*

Endapan urat tembaga mencakup berbagai jenis endapan dimana tembaga adalah logam dominan. Endapan tersebut dikontrol secara struktural dan terjadi pada sesar, sistem sesar, dan zona urat-breksi atau zona penggantian di batuan inang

terkait juga ada. Endapan ini sangat bervariasi dalam ukuran dan kelas (Sinclair *et. al.*, 1995). Endapan urat adalah struktur termineralisasi yang biasanya berkembang bersama dengan rekahan dan ketebalannya bervariasi dari sentimeter hingga puluhan meter atau lebih. Sulfida umumnya didistribusikan secara tidak teratur dan diseminasi dalam kuarsa, karbonat dan mineral pengotor lainnya. Pentingnya endapan urat terus berkurang seiring dengan perubahan ekonomi dan teknik ekstraksi yang lebih baik yang telah memungkinkan endapan besar dan kadar rendah untuk ditambang. Tembaga umumnya terdapat dalam urat yang terkait dengan kuarsa, perak, emas dan kadang-kadang uranium, antimon, dan fosfor. Vena polimetalik ini mungkin terkait dengan tembaga porfiri, skarn tembaga, emas-perak-tembaga epitermal dan endapan tembaga yang diinangi sedimen (Lusty & Hannis, 2009).

#### 2.2.10 *Supergene deposits*

Alterasi supergen adalah pengayaan sekunder insitu dari deposit dimana mineral bijih primer dioksidasi, dilarutkan, dan dipresipitasi kembali, terjadi umumnya di permukaan air. Pengayaan supergen terjadi di atas bijih hipogen primer dan dapat meluas secara lateral dan vertikal (mencapai puluhan meter ke bawah).

Selimut pengayaan mineral yang mengandung mineral tembaga berkualitas tinggi, seperti kalkosit, kovelit, dan bornit, dapat meningkatkan kadar rata-rata bijih menjadi 1 % hingga 3 % tembaga. Pengayaan supergen mendukung batuan yang permeabel terhadap air meteorik dan mengandung pirit yang melimpah untuk memungkinkan pembentukan asam sebagai pengoksidasi. Kehadiran mineral pembawa logam yang larut dalam asam juga dapat berkontribusi pada pembentukan deposit supergen. Pengayaan supergen telah menjadi faktor utama dalam pengembangan beberapa deposit tembaga porfiri (Lusty & Hannis, 2009).

Tabel 2.4 Gambaran deposit profil tembaga (Lusty & Hannis, 2009)

No	Tipe Endapan Bijih	Gambaran Endapan Bijih	Contoh
1	<i>Porphyry</i>	Stockwork yang besar tetapi memiliki kadar yang relatif rendah untuk deposit, disebarluaskan terkait dengan intrusinya	Chuquicamata dan La Escondida, Chile; Bingham Canyon, USA; Grasberg, Indonesia
2	<i>Sediment-hosted</i>	Penyebaran mineral tembaga yang terendapkan di berbagai batuan sedimen	Nchanga, Zambia; Lubin, Poland; White Pine, USA
3	<i>Red-bed</i>	Mineralisasi tembaga yang terjadi di zona oksidasi pada batuan sedimen dan vulkanik	Dzhezkazgan (s), Kazakhstan; Mantos Blancos (v), Chile
4	<i>Volcanogenic massive sulphide (VMS)</i>	Mineralisasi yang terjadi pada urutan sedimen gunung berapi bawah laut	Bathurst and Kidd Creek, Canada; Rio Tinto, Spain
5	<i>Magmatic sulphide deposits</i>	Konsentrasi sulfida yang terkait dengan berbagai batuan magmatik mafik dan ultrabasa	Sudbury and Voisey's Bay, Canada; Noril'sk-Talnakh, Russia; Kambalda, Australia
6	<i>Sedimentary exhalative (SEDEX)</i>	Sulfida polimetalik yang diendapkan dari cairan hidrotermal yang mengalir ke cekungan sedimen tanpa sumber vulkanik yang jelas	Broken Hill and McArthur River, Australia; Red Dog, Alaska
7	<i>Epithermal</i>	Urat, stockwork dan breksi yang terkait dengan sistem hidrotermal suhu rendah dekat permukaan	El Indio, Chile; Lepanto, Philippines; Monywa, Burma
8	<i>Copper skarns</i>	Mineralisasi yang terbentuk oleh alterasi kimia yang terkait dengan intrusi ke dalam batuan karbonat	Ok Tedi, Papua New Guinea; Copper Canyon, USA; Rosita, Nicaragua
9	<i>Vein-style deposits</i>	Struktur termineralisasi yang berkembang di sepanjang rekahan dengan lebar bervariasi dari sentimeter hingga puluhan meter dari berbagai sumber	El Indio, Chile; Copper Hills, Australia; Butte, USA
10	<i>Supergene</i>	Pengayaan sekunder alami in-situ dari mineralisasi primer	Erdenet, Mongolia; La Escondida, Chile; Sarcheshmeh, Iran

### 2.3 Pengolahan dan Ekstraksi Tembaga dari Bijihnya

Menurut proporsi mineral oksida dan mineral sulfidanya, bijih tembaga dapat dikategorikan sebagai bijih sulfida yang mengandung oksida tembaga kurang dari 10% berat, bijih campuran yang mengandung oksida tembaga 10%–30% berat, atau bijih oksida yang mengandung lebih dari 30% berat tembaga oksida (Zhao, 1982).

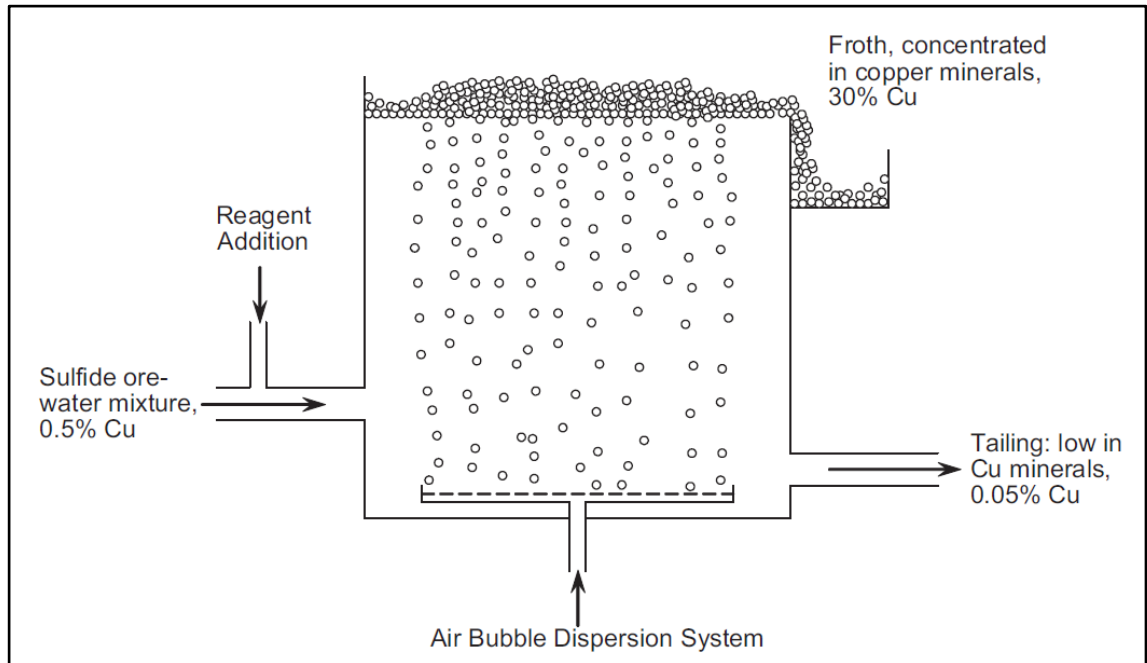
Bijih yang ditambang umumnya mengandung 0,5%–3% Cu. Tahap pertama dalam pengolahan bijih tembaga adalah konsentrasi yang bertujuan untuk meningkatkan kandungan tembaga menjadi 25%-35%. Proses ini biasanya dilakukan di lokasi tambang dengan melakukan pengecilan ukuran pada bijih, diikuti tahap pemrosesan dan pemisahan kimia dan/atau fisik. Setelah tembaga dikonsentrasikan (kominusi, flotasi buih, dan pelindian) selanjutnya konsentrat tembaga dapat diubah menjadi logam tembaga murni menggunakan dua teknik yaitu pirometalurgi dan hidrometalurgi.

Metode yang paling efektif untuk mengkonsentrasikan mineral tembaga adalah flotasi buih. Flotasi didahului dengan menghancurkan dan menggiling bijih tembaga yang ditambang menjadi partikel kecil (~50  $\mu$ m) (Schlesinger *et. al.*, 2011). Flotasi bertujuan untuk memisahkan mineral tembaga dari pengotornya dengan memanfaatkan perbedaan sifat fisik permukaan mineral dengan cara mengapungkan salah satu mineralnya. Mineral yang diapungkan adalah mineral yang suka terhadap udara (*hidrophobic*) sedangkan mineral yang tidak diapungkan adalah mineral yang suka air (*hidrophylic*).

Proses konsentrasi flotasi, salah satu hal terpenting adalah penambahan *reagent* ke dalam campuran air dan mineral (*pulp*) sehingga terjadi perubahan sifat permukaan partikel mineral. Karena pada umumnya mineral bersifat *hydrophilic* (suka terhadap air), sehingga perlu adanya perubahan sifat permukaan menjadi *hydrophobic*.



Sifat suatu *reagent* dalam proses konsentrasi flotasi adalah *activators*, *depressants*, dan *dispersant* (Napier-Munn, 2006).

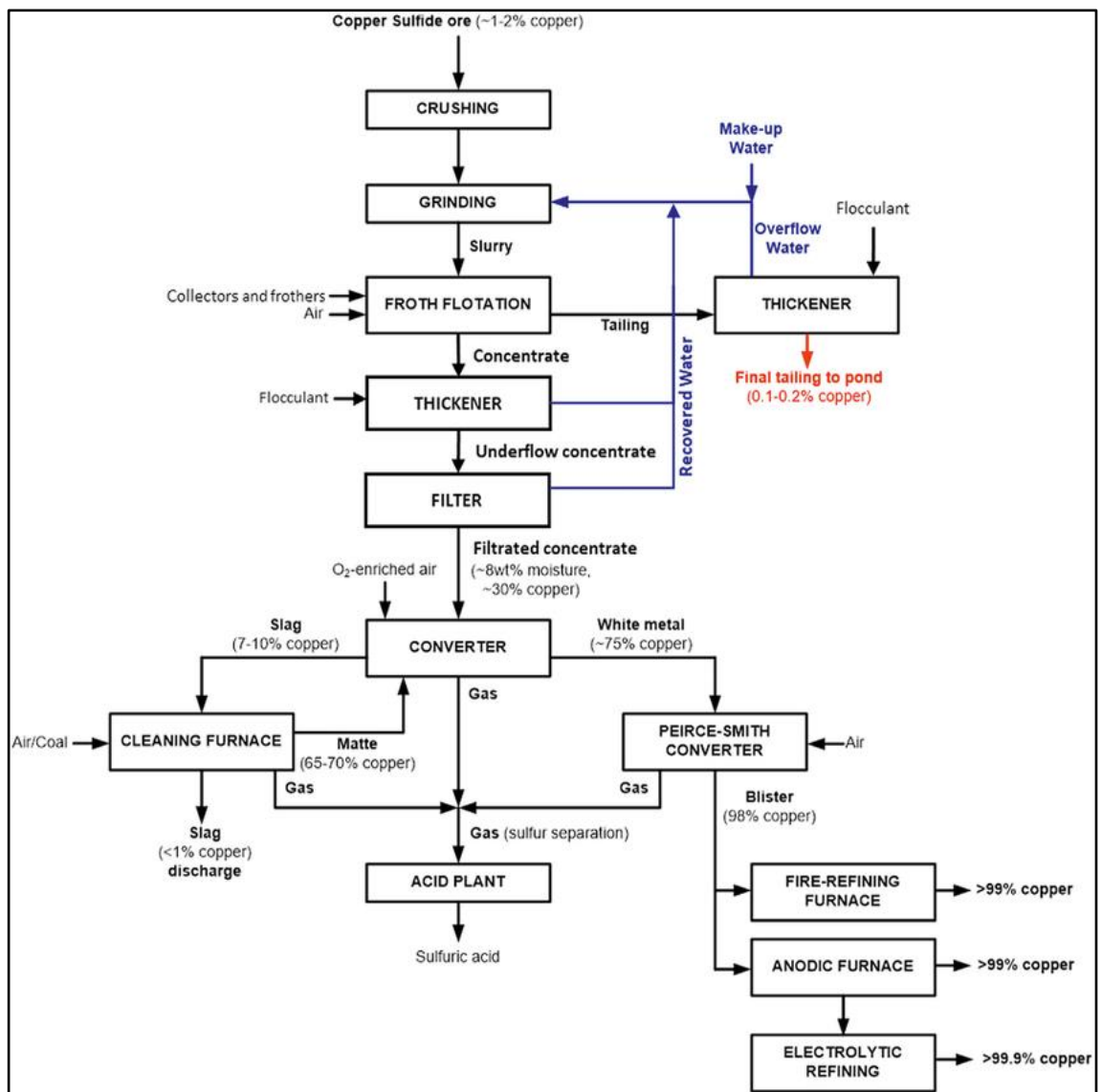


Gambar 2.2 Skema proses flotasi tembaga (Schlesinger *et. al.*, 2011)

*Reagent* yang penting di antaranya adalah *frothers*, yang berfungsi untuk menstabilkan gelembung udara agar tidak pecah pada proses flotasi mineral dengan cara menurunkan tegangan permukaan air, dan untuk mengontrol karakteristik buih yang dihasilkan. Contoh dari *frother* adalah *DOWFROTH Flotation Frother Series*, *MIBC*, dan *Polyalkoxyparaffins*. Selain itu, *reagent* yang penting adalah *collectors* yang berfungsi sebagai substansi yang selektif melapisi mineral-mineral tertentu dan membuatnya menjadi penolak air (*hydrophobic*) dengan menyerap ion atau molekul pada permukaan mineral, mengurangi kestabilan dari lapisan hidrat yang memisahkan permukaan mineral dan gelembung udara sehingga permukaan mineral akan mampu menempel pada gelembung udara (Napier-Munn, 2006). Contoh *collectors* untuk mineral sulfida adalah Xanthate, dan Dithiophosphate. Sedangkan untuk mineral *non* sulfida adalah *Fatty acid*. Serta *reagent* pengontrol atau disebut dengan *modifier*, *Modifier* seperti aktifator, *depressant*, *dispersant* dan *pH regulator* sering ditambahkan

ke dalam proses flotasi. Aktifator adalah reagen yang digunakan untuk menambah interaksi antara partikel solid dengan kolektor. *Depresant* membentuk lapisan kimia polar yang membungkus partikel solid sehingga menambah sifat hidrofobik ke partikel solid yang tidak diinginkan. *Dispersant* digunakan untuk mencegah penggumpalan partikel, sehingga partikel dapat berinteraksi dengan kolektor dan gelembung udara dengan lebih baik. Secara umum pH regulator terdapat dua macam : asam dan basa, pH regulator digunakan untuk mengontrol pH karena sifat sistem hidrofobik dapat optimal pada daerah pH tertentu (Napier-Munn, 2006).

### 2.3.1 Pirometalurgi



Gambar 2.3 Bagan alir proses pirometalurgi ekstraksi tembaga (Santoro *et. al.*, 2021)

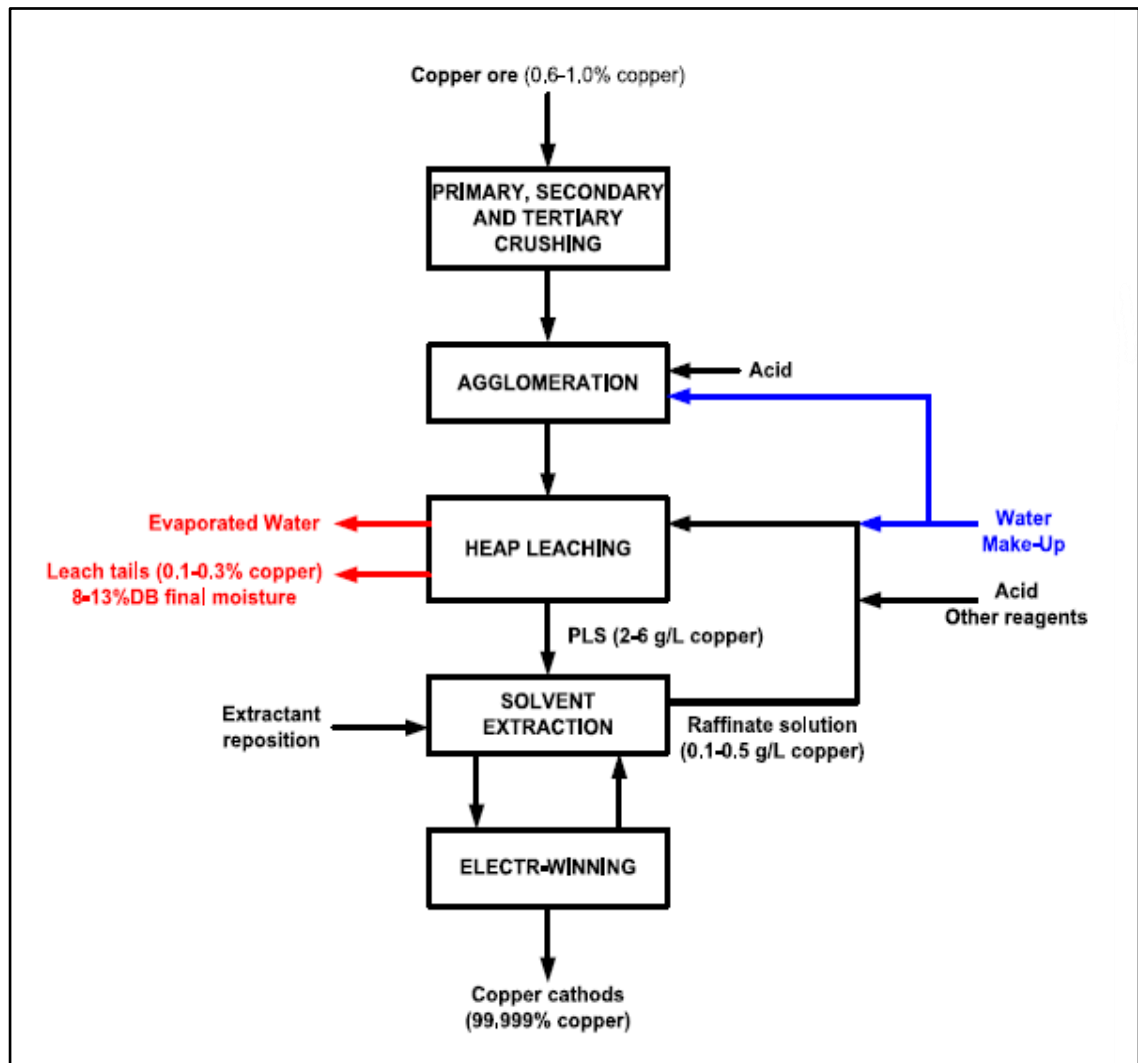
Sekitar 80% dari bijih tembaga dunia berasal dari bijih Cu-Fe-S. Mineral Cu-Fe-S tidak mudah larut dalam larutan berair, sehingga sebagian besar ekstraksi tembaga dari mineral ini adalah pirometalurgi (Schlesinger *et. al.*, 2011).

Konsentrat tembaga dimasukkan ke dalam tungku peleburan untuk memisahkan tembaga dari mineral pengotornya. Tembaga bekas daur ulang juga dapat diolah menggunakan proses ini. Empat tahap dalam proses pirometalurgi meliputi *roasting*, *smelting*, *converting* dan *fire refining*. Beberapa *smelter* menggabungkan beberapa di antaranya menjadi proses yang berkelanjutan. Menghasilkan produk *matte copper* (35-68% Cu) dan *blister copper* (97-99% Cu). *Blister copper* dapat dimurnikan lebih lanjut menjadi tembaga anoda (99,5% Cu) dengan *fire refining* atau tembaga katoda dengan *electrolytic refining* (99,95–99,96% Cu) (Lusty & Hannis, 2009).

### 2.3.2 Hidrometalurgi

Sekitar 20% sisanya dari produksi tembaga primer berasal dari pengolahan hidrometalurgi terutama bijih tembaga oksida dan kalkosit. Tembaga ini diperoleh dengan melalui proses pelindian, diikuti dengan ekstraksi pelarut dan *electrowinning*. 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).

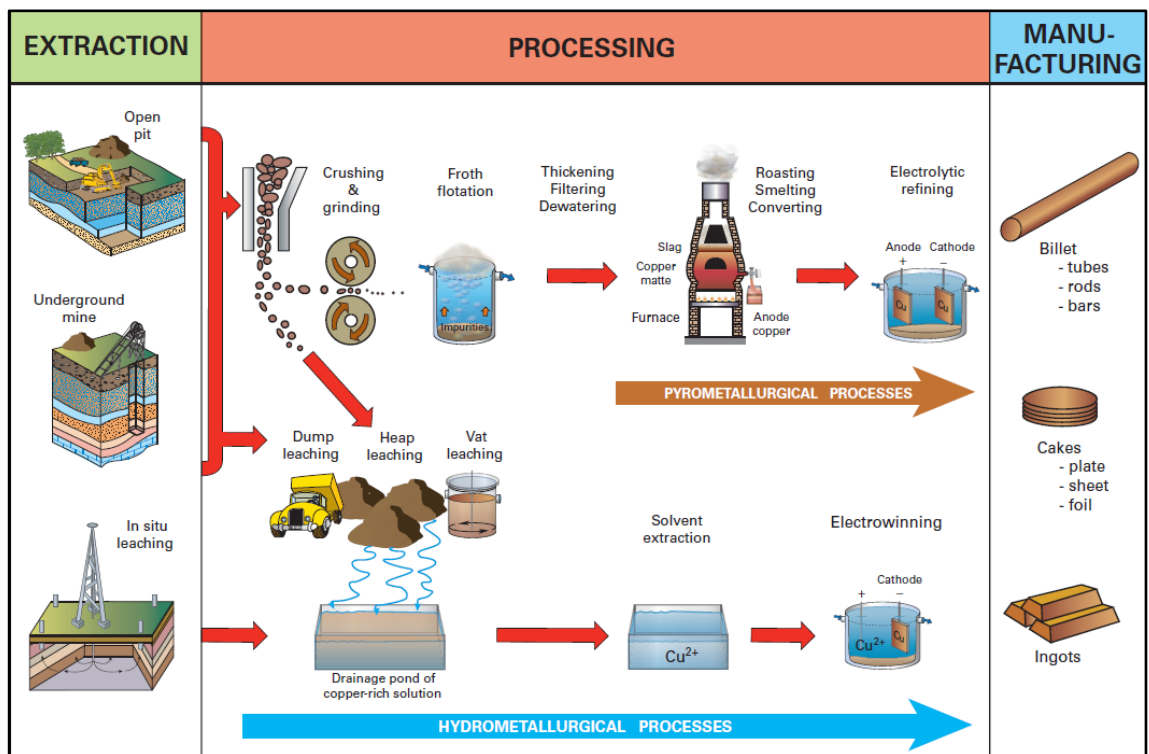


Gambar 2.4 Bagan alir proses hidrometalurgi ekstraksi tembaga (Santoro *et. al.*, 2021)

Bijih tembaga oksida, bijih tembaga sulfida kadar rendah atau limbah tambang (*tailing*) ditempatkan dalam wadah. Asam sulfat lemah kemudian ditambahkan untuk melarutkan mineral tembaga. Bahan kimia seperti besi klorida dapat ditambahkan untuk membantu meningkatkan pemisahan sulfida tembaga. Strain bakteri tertentu dapat ditambahkan untuk mempercepat proses, dalam teknik yang dikenal sebagai *bioleaching*. Meningkatkan tekanan dan suhu dalam proses pelindian juga dapat mempercepat pemisahan. Pelindian menghasilkan larutan dengan konsentrasi tembaga 30%-70%. Hasil pelindian tembaga tertinggi dan tercepat dapat diekstraksi dari bijih oksida, atau yang tidak mengandung besi. Hasil dapat mencapai 50% dalam setahun

dan 90% dalam lima tahun menggunakan teknik *heap leaching*. Waktu hasil bisa sesingkat hari atau bulan untuk *vat leaching*. Bijih sulfida umumnya membutuhkan waktu lebih lama untuk larut dan menghasilkan hasil yang jauh lebih rendah 10-15% per tahun (Lusty & Hannis, 2009).

Selanjutnya larutan hasil pelindian dicampur dengan bahan kimia yang disebut ekstraktan, yang secara selektif menghilangkan tembaga dari larutan asam dan meninggalkan sebagian besar kotoran. Hasil larutan tembaga yang sangat pekat disebut *pregnant liquor solution (PLS)* yang ditransfer ke tahap akhir *electrowinning* (Lusty & Hannis, 2009).



Gambar 2.5 Pengolahan tembaga pirometalurgi dan hidrometalurgi (Lusty & Hannis, 2009)

Proses *elektrowinning* larutan yang kaya tembaga dilakukan dengan menyaring, memanaskan, dan kemudian melewati serangkaian sel elektrolitik. Tegangan yang lebih besar diterapkan ke sel yaitu 3 volt dibandingkan dengan pemurnian elektrolit yang hanya 0,2 volt. Selanjutnya, tembaga akan mengendap di lembaran *starter*

*stainless steel* untuk membentuk katoda kemurnian tinggi (99,99% Cu) (Lusty & Hannis, 2009). Produk dari proses *elektrowinning* akan menghasilkan logam tembaga murni di katoda, gas oksigen di anoda, dan regenerasi asam yang digunakan dalam proses pelindian.

Tabel 2.5 Pemrosesan dan rentang waktu untuk metode pelindian yang berbeda untuk bijih tembaga oksida (Lusty & Hannis, 2009)

Metode Pelindian	Cocok untuk	Persiapan / Metode	Skala waktu untuk mengekstrak ~70% Cu
<i>Dump Leaching</i>	Volume bijih kadar rendah yang besar dan limbah	Tanpa persiapan	Bulan ke tahun
<i>Heap Leaching</i>	Bijih kadar rendah	Penghancuran dan penggilingan	Hari ke bulan
<i>Vat Leaching</i>	Volume bijih yang relatif rendah, umumnya bijih berkadar lebih tinggi	Penghancuran, penggilingan, dan Diagitasi dalam tangki perkolasi	Jam atau hari

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):

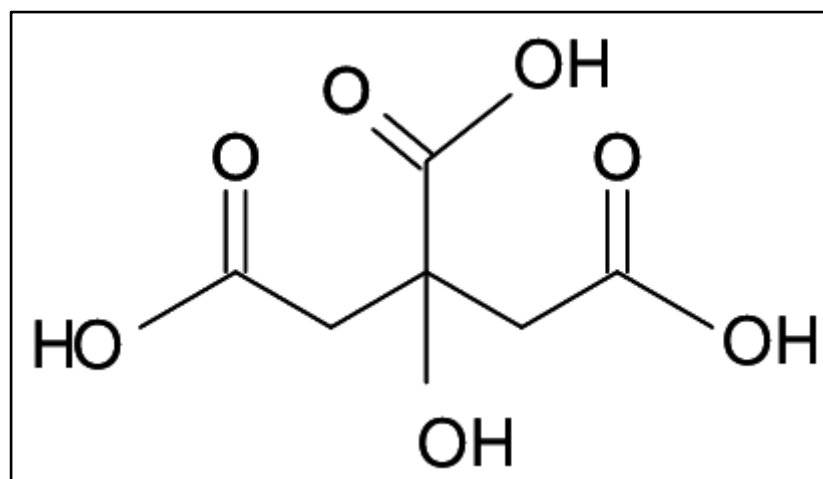
1. Bijih kadar rendah dapat diproses
2. Efisiensi energi yang lebih tinggi karena suhu yang lebih rendah diperlukan
3. Modal dan biaya operasional yang lebih rendah membuat hidrometalurgi lebih ekonomis untuk operasi skala kecil.
4. Dampak lingkungan yang lebih rendah karena aliran limbah cair lebih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

## 2.4 Pelindian dengan Asam Sitrat

Ekstraksi hidrometalurgi adalah cabang industri yang penelitiannya sedang 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, HNO<sub>3</sub> dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Namun, sebagian besar agen pelindian ini menyebabkan pencemaran lingkungan. Asam organik seperti asam sitrat, asetat atau oksalat dapat menjadi agen pelindian alternatif yang lebih ramah lingkungan karena pelindian dilakukan pada kondisi asam sedang. Namun, mereka tidak dapat digunakan sebagai agen pelindian untuk senyawa yang susah untuk dilarutkan karena keasamannya yang lemah, suhu didih yang rendah dan dekomposisi (Demir *et. al.*, 2006).

Asam sitrat (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub> atau C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>·H<sub>2</sub>O) adalah asam organik lemah dan secara alami ditemukan dalam buah jeruk (seperti lemon dan jeruk nipis) dan buah beri tertentu (seperti *raspberry* dan *blackberry*). Beberapa mikroorganisme seperti spesies *Penicillium* dan *Aspergillus niger* juga dapat menghasilkan asam sitrat dari media yang mengandung sukrosa atau glukosa (Shabani *et. al.*, 2012). Asam sitrat paling banyak digunakan sebagai pengasaman organik dan agen pengontrol pH dalam makanan, minuman, obat-obatan (misalnya, dalam pencahar dan katarsis), dalam minuman ringan, dan dalam berbagai aplikasi teknis (Demir *et. al.*, 2006).

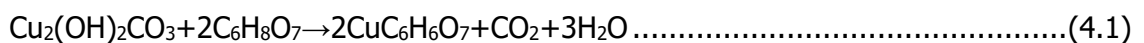


Gambar 2.6 Struktur molekul asam sitrat (Santoro *et. al.*, 2021)

Ada beberapa penelitian tentang pelindian bijih logam dengan asam organik. Dalam beberapa penelitian tersebut, asam oksalat digunakan untuk menghilangkan

mineral lempung dan silikat dari oksida besi. Beberapa percobaan dilakukan dengan menggunakan asam organik (sitrat, glukonat, asetat, dan asam laktat) dalam pencucian magnesit dan efek parameter utama pada pencucian magnesit. Namun, satu-satunya penelitian tentang pelindian bijih tembaga oksida menggunakan asam organik dilakukan oleh (Habbache *et. al.*, 2009). Mereka telah mengevaluasi laju disolusi CuO dari katalis CuO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang diolah dengan larutan HCl, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dan asam sitrat dan mereka mengoptimalkan efek konsentrasi asam, waktu pelindian, suhu, dan kecepatan pengadukan.

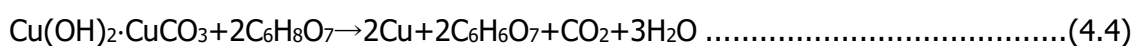
Asam sitrat mengandung tiga gugus karboksil dengan konstanta disosiasi untuk tiga proton yang masing-masing dinyatakan sebagai pKa1 = 3,13, pKa2 = 4,76 dan pKa3 = 6,40 pada 25 ° C. Malasit adalah salah satu mineral tembaga oksida yang paling penting dan larut dalam asam lemah seperti asam sitrat (Shabani *et. al.*, 2012):



Reaksi antara asam sitrat dengan bijih malasit lebih jelasnya adalah sebagai berikut (Shabani *et. al.*, 2012):



Kombinasi kedua reaksi di atas menghasilkan reaksi akhir sebagai berikut:



Pelindian selektif menggunakan asam organik dapat digunakan sebagai metode yang menjanjikan untuk memproses fosfat sedimen. Dalam hal ini, (Gharabaghi *et. al.*, 2010) telah menyimpulkan bahwa asam organik dapat secara efektif mengurangi kandungan karbonat dalam bijih fosfat dan menyarankan bahwa, jika ekonomi mendukung peningkatan bijih fosfat dengan pencucian asam organik, teknik ini harus dipertimbangkan secara serius karena tidak terlalu berbahaya bagi lingkungan.