

**PENGARUH VARIASI SUHU, WAKTU, DAN REAGEN PELINDIAN
TERHADAP PERSEN *RECOVERY*, STRUKTUR FASA DAN
MORFOLOGI BESI DARI TAILING REDUKSI LATERIT**

(Skripsi)

Oleh

Haposan L. H. Sihombing



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI SUHU, WAKTU, DAN REAGEN PELINDIAN TERHADAP PERSEN *RECOVERY*, STRUKTUR FASA DAN MORFOLOGI BESI DARI TAILING REDUKSI LATERIT

Oleh

Haposan L. H. Sihombing

Telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh variasi suhu, waktu, dan reagen pelindian terhadap persen *recovery*, struktur fasa, dan morfologi besi dari tailing reduksi laterit. Variasi suhu pelindian yang digunakan yaitu 30, 60, 90°C dengan variasi waktu 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit. Reagen yang digunakan yaitu asam sitrat ($C_6H_8O_7$) dan *monosodium glutamate* (MSG). Karakterisasi yang digunakan yaitu ICP-OES, XRD, dan FESEM-EDS. Hasil karakterisasi ICP-OES pada sampel optimal reagen asam sitrat dan MSG menghasilkan persen *recovery* Fe sebesar 77,2% dan 11,5%. Hasil karakterisasi XRD pada sampel menghasilkan puncak-puncak difraksi sesuai dengan pangkalan data standar serta terdapat fasa *wuestite* sisa pada sampel reagen asam sitrat dan fasa *quartz* sisa pengotor pada sampel reagen MSG. Hasil karakterisasi FESEM menunjukkan morfologi permukaan sampel berbentuk gumpalan tidak beraturan dan masih terdapat gumpalan yang lebih halus. Hasil EDS sampel reagen asam sitrat menunjukkan penyebaran unsur didominasi oleh unsur Fe dan Al sedangkan sampel reagen MSG didominasi oleh unsur Fe, Al, dan Si. Model kinetika pelindian yang tepat pada penelitian ini yaitu *shrinking particle model* (SPM) dan pengendali laju reaksi pelindian untuk unsur Fe dikontrol oleh difusi film gas dengan energi aktivasi ketika menggunakan reagen asam sitrat sebesar 18,98 kJ/mol dan reagen MSG sebesar 33,17 kJ/mol.

Kata Kunci: Tailing reduksi laterit, Pelindian, Karakterisasi, Model kinetika, Energi aktivasi

ABSTRACT

EFFECT OF TEMPERATURE, TIME, AND LEACHING REAGENT VARIATIONS ON PERCENT *RECOVERY*, PHASE STRUCTURE AND MORPHOLOGY OF IRON FROM LATERITE REDUCTION TAILINGS

By

Haposan L. H. Sihombing

Research has been conducted on the effect of variations in temperature, time, and leaching reagents on the percent *recovery*, phase structure, and morphology of iron from laterite reduction tailings. The leaching temperature variations use were 30, 60, 90°C with time variations of 30 minutes, 60 minutes, 90 minutes, and 120 minutes. The reagents used were citric acid ($C_6H_8O_7$) and *monosodium glutamate* (MSG). The characterizations used were ICP-OES, XRD, and FESEM-EDS. The results of ICP-OES characterization on the optimal sample of citric acid and MSG reagents resulted in Fe *recovery* percentages of 77,2% and 11,5%. The XRD characterization results on the samples produced diffraction peaks in accordance with the standard database and there was a residual *wuestite* phase in the citric acid reagent sample and a residual impurity *quartz* phase in the MSG reagent sample. The results of FESEM characterization show that the surface morphology of the sample is in the form of irregular lumps and there are still finer lumps. EDS result of citric acid reagent samples showed the distribution of elements dominated by Fe and Al elements while MSG reagent samples were dominated by Fe, Al, and Si elements. The appropriate leaching kinetics model in this study is the *shrinking particle model* (SPM) and the leaching reaction rate controller for Fe element is controlled by gas film diffusion with activation energy when using citric acid reagent of 18,98 kJ/mol and MSG reagent of 33,17 kJ/mol.

Keywords: Laterite reduction tailings, Leaching, Characterization, Kinetics model, Activation energy

**PENGARUH VARIASI SUHU, WAKTU, DAN REAGEN PELINDIAN
TERHADAP PERSEN *RECOVERY*, STRUKTUR FASA DAN
MORFOLOGI BESI DARI TAILING REDUKSI LATERIT**

Oleh

Haposan L. H. Sihombing

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **PENGARUH VARIASI SUHU, WAKTU,
DAN REAGEN PELINDIAN TERHADAP
PERSEN RECOVERY, STRUKTUR FASA
DAN MORFOLOGI BESI DARI
TAILING REDUKSI LATERIT**

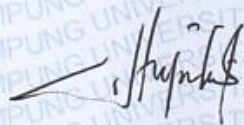
Nama Mahasiswa : **Haposan L.H. Sihombing**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1917041070**

Jurusan : **Fisika**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**





Suprihatin, S.Si., M.Si.
NIP. 19730414 199702 2 001



Fathan Bahfie, S.T., M.Si.
NIP. 19901218 201401 1 001

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA



Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 19801010 200501 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Suprihatin, S.Si., M.Si.**

Sekretaris : **Fathan Bahfie, S.T., M.Si.**

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D.**

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dr. Eng Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 19711001 200501 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **08 Agustus 2023**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam skripsi ini tidak terdapat karya orang lain dan tidak terdapat pendapat atau karya yang ditulis oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 08 Agustus 2023

Penulis,



Haposan L. H. Sihombing
NPM. 1917041070

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Haposan Lehon Hamonangan Sihombing, dilahirkan pada tanggal 03 Juni 2000 di Pematangsiantar. Penulis merupakan anak keempat dari empat bersaudara dari pasangan Alm. Bapak Renaldo Sihombing dan Ibu Hotsinta Purba, S.Pd.K. Penulis menyelesaikan pendidikan di TK Nazareth HKBP Pematangsiantar pada tahun 2006, SD Swasta RK 7 Pematangsiantar pada tahun 2012, SMP Swasta Budi Mulia pada tahun 2015, SMA Negeri 2 Pematangsiantar pada tahun 2018.

Penulis diterima di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2019 melalui jalur SBMPTN. Selama menempuh pendidikan, penulis aktif di kegiatan organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) periode 2020-2021 sebagai anggota bidang Saintek. Penulis juga aktif di kegiatan organisasi pelayanan mahasiswa Unit Kegiatan Mahasiswa Kristen Universitas Lampung periode 2021 sebagai anggota tim editor dan Persekutuan Oikumene Mahasiswa Kristen MIPA periode 2020-2023 sebagai pengurus. Penulis telah menyelesaikan kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PDAM Way Rilau Bandar Lampung, dengan judul “Penetapan pH dan Kekeruhan pada Proses Pengolahan Air di PDAM Way Rilau Bandar Lampung”. Penulis juga mengikuti program pengabdian masyarakat

dengan mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada tahun 2022 di Desa Tegal Binangun, Sumberejo, Tanggamus.

Selanjutnya penulis melakukan penelitian bidang hidrometalurgi sebagai topik skripsi di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung dengan judul “Pengaruh Variasi Suhu, Waktu, dan Reagen Pelindian terhadap Persen *Recovery*, Struktur Fasa dan Morfologi Besi dari Tailing Reduksi Laterit”. Penulis melakukan penelitian di Laboratorium Hidro-Elektro Metalurgi dan Laboratorium Analisis Kimia Balai Penelitian Teknologi Mineral-Badan Riset dan Inovasi Nasional (BPTM-BRIN) Lampung.

MOTTO

“Berjaga-jagalah dan berdoalah, supaya kamu jangan jatuh ke dalam pencobaan; roh memang penurut, tetapi daging lemah.”

(Markus 14 : 38)

“It does not matter how slowly you go as long as you do not stop.”

– Confucius –

“Mereka yang menjalani hidup dengan perjuangan, yang berani di tengah keterbatasan, sejatinya sedang menyiapkan kisah memikat untuk masa depan.”

– Haposan L. H. Sihombing –

PERSEMBAHAN

Terpujilah Nama Tuhan

Dengan penuh rasa syukur kepada Tuhan Yesus Kristus untuk berkat dan penyertaanNya, kupersembahkan karya ini untuk semua orang yang ku sayangi dan cintai

Alm. Ayahku Tercinta

Terimakasih untuk cinta dan kasih sayang yang sudah diberikan kepadaku semasa hidup

Ibuku Tersayang

Terimakasih untuk semua yang telah ibu lakukan, baik doa, dukungan, nasihat, dan didikan yang membuat aku menjadi anak laki-laki yang harus kuat dan pantang menyerah menghadapi setiap permasalahan dan menyelesaikan pendidikan S1

Kakaku dan Abangku Terkasih

Terimakasih telah memberikan semangat, bantuan, dan motivasi kepada adikmu ini

Almamaterku tercinta

“UNIVERSITAS LAMPUNG”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus, yang telah memberikan berkat dan kasihNya sehingga penulis dapat menyelesaikan kuliah serta skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Suhu, Waktu, dan Reagen Pelindian terhadap Persen Recovery, Struktur Fasa dan Morfologi Besi dari Tailing Reduksi Laterit”**. Tujuan penulisan skripsi ini yaitu sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada bidang Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung serta melatih berpikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini, oleh karena itu penulis mengharap kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 08 Agustus 2023

Penulis,

Haposan L. H. Sihombing

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat dan kasihNya yang telah dilimpahkan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Suhu, Waktu, dan Reagen Pelindian terhadap Persen *Recovery*, Struktur Fasa dan Morfologi Besi dari Tailing Reduksi Laterit”**. Penulis menyadari bahwa selama penulisan skripsi ini tentunya mendapatkan banyak dukungan dari berbagai pihak yang telah mendukung, memberikan motivasi, dan membimbing penulis. Oleh karena itu, dengan penuh ketulusan dan kerendahan hati, pada kesempatan ini patutlah kiranya penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si. selaku Pembimbing Pertama dan Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan bimbingan, motivasi, nasihat serta ilmunya selama masa kuliah di Jurusan Fisika.
2. Bapak Fathan Bahfie, S.T., M.Si. selaku Pembimbing Kedua yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan, arahan serta saran dalam penulisan skripsi ini dan membantu selama proses penelitian ini.
3. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D. selaku Penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan selama penulisan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.

5. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah banyak memberikan ilmu dan nasihat selama masa kuliah di Jurusan Fisika.
7. Para karyawan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
8. Ibu Hotsinta Purba, S.Pd.K., kakak Ivenny Sihombing dan Novita Sihombing, serta abang Soritua Sihombing yang telah mendukung dan memberikan semangat serta mendoakan penulis.
9. Kepala Pusat Riset Teknologi Pertambangan – BRIN Lampung Selatan yang telah memfasilitasi penulis selama proses penelitian berlangsung.
10. Staff admin dan satpam Pusat Riset Teknologi Pertambangan – BRIN Lampung Selatan yang telah membantu selama proses penelitian berlangsung.
11. Partner penelitian Nadya Kaban yang telah membantu selama proses penelitian berlangsung.
12. Rekan-rekan “Ahedah” yang senantiasa saling menyemangati dalam menyelesaikan skripsi ini.
13. Kelompok Kecil “Amuba” Bang Benny Sianipar dan Frikles Lumbantoruan yang menjadi rumah untuk berdiskusi, bertumbuh, dan berkembang di dalam iman sehingga penulis bisa memiliki pondasi untuk lebih bersyukur dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
14. Keluarga POM MIPA dan teman-teman pengurus yang menjadi wadah untuk penulis bertumbuh dalam rohani dan mengenal pelayanan di kehidupan mahasiswa.

15. Teman-teman seperjuangan Fisika angkatan 2019 yang saling menyemangati dalam menyelesaikan skripsi masing-masing.

16. Seluruh pihak yang telah ikut serta membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga Tuhan Yesus Kristus senantiasa memberikan berkat dan balasan atas segala kebaikan yang telah dilakukan oleh berbagai pihak sehingga skripsi ini dapat selesai dan bermanfaat.

Bandar Lampung, 08 Agustus 2023

Penulis,

Haposan L. H. Sihombing

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xx

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Laterit	6
2.2 Besi.....	8
2.3 Pengolahan Laterit.....	9
2.4 Kinetika Pelindian	10
2.5 Asam Sitrat ($C_6H_8O_7$)	12
2.6 Monosodium Glutamate (MSG)	14
2.7 <i>Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy</i> (ICP-OES).....	15
2.8 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	16
2.9 <i>Field Emission Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive</i> <i>Spectroscopy (FESEM-EDS)</i>	18

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	20
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	20
3.2.1 Alat	20
3.2.2 Bahan	20
3.3 Metode Penelitian.....	21
3.3.1 Preparasi Bahan.....	21
3.3.2 Pembuatan Larutan Asam Sitrat.....	21

3.3.3 Pembuatan Larutan MSG.....	22
3.3.4 Pelindian Asam Sitrat dengan Tailing Reduksi Laterit	22
3.3.5 Pelindian MSG dengan Tailing Reduksi Laterit	23
3.3.6 Karakterisasi Filtrat Larutan Pelindian Awal.....	24
3.3.7 Pelindian Ulang Asam Sitrat dengan Tailing Reduksi Laterit	24
3.3.8 Pelindian Ulang MSG dengan Tailing Reduksi Laterit.....	25
3.3.9 Karakterisasi.....	26
3.4 Diagram Alir	27

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Variasi Suhu, Waktu, dan Reagen Pelindian terhadap Persen <i>Recovery</i> Besi.....	30
4.1.1 Hasil Karakterisasi ICP-OES pada Bahan Baku	30
4.1.2 Hasil Karakterisasi ICP-OES pada Sampel Setelah Pelindian dengan Reagen Asam Sitrat ($C_6H_8O_7$).....	31
4.1.3 Hasil Karakterisasi ICP-OES pada Sampel Setelah Pelindian dengan Reagen Monosodium Glutamate (MSG)	32
4.1.4 Perbandingan Hasil Karakterisasi ICP-OES pada Sampel Setelah Pelindian antara Reagen Asam Sitrat ($C_6H_8O_7$) dan Monosodium Glutamate (MSG)	33
4.2 Pengaruh Variasi Suhu, Waktu, dan Reagen Pelindian terhadap Fasa yang Terbentuk.....	35
4.2.1 Hasil Karakterisasi XRD pada Sampel Setelah Pelindian dengan Reagen Asam Sitrat ($C_6H_8O_7$).....	36

4.2.2 Hasil Karakterisasi XRD pada Sampel Setelah Pelindian dengan Reagen Monosodium Glutamate (MSG)	37
4.3 Pengaruh Variasi Suhu, Waktu, dan Reagen Pelindian terhadap Morfologi Permukaan	39
4.3.1 Hasil Karakterisasi FESEM-EDS pada Sampel Setelah Pelindian dengan Reagen Asam Sitrat ($C_6H_8O_7$)	39
4.3.2 Hasil Karakterisasi FESEM-EDS pada Sampel Setelah Pelindian dengan Reagen Monosodium Glutamate (MSG)	41
4.4 Model Kinetika Pelindian Tailing Reduksi Laterit	43

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	49

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Endapan Laterit	7
Gambar 2.2 Struktur Molekul Asam Sitrat	13
Gambar 2.3 Struktur Molekul MSG	14
Gambar 2.4 Skema ICP-OES.....	15
Gambar 2.5 Skema Difraksi Sinar-X	16
Gambar 2.6 Skema Hukum Bragg	17
Gambar 2.7 Skema FESEM-EDS	19
Gambar 3.1 Diagram Alir Preparasi Bahan	27
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian.....	29
Gambar 4.1 Grafik hasil perbandingan persen <i>recovery</i> Fe menggunakan reagen asam sitrat ($C_6H_8O_7$) dan monosodium glutamate (MSG)	34
Gambar 4.2 Difraktogram sampel reagen asam sitrat ($C_6H_8O_7$) optimal dan tidak optimal terhadap fasa yang terbentuk.....	36
Gambar 4.3 Difraktogram sampel reagen monosodium glutamate (MSG) optimal dan tidak optimal terhadap fasa yang terbentuk	38

Gambar 4.4 Hasil karakterisasi FESEM-EDS pada sampel optimal reagen asam sitrat ($C_6H_8O_7$): (a) FESM (b) EDS.....	40
Gambar 4.5 Hasil karakterisasi FESEM-EDS pada sampel optimal reagen monosodium glutamate (MSG): (a) FESM (b) EDS	42
Gambar 4.6 Plot kurva Arrhenius pelindian tailing reduksi laterit: (a) menggunakan asam sitrat (b) MSG.....	46

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Klasifikasi jenis-jenis mineral berdasarkan kandungan besi (Fe)	8
Tabel 4.1 Hasil karakterisasi ICP-OES pada tailing reduksi laterit	30
Tabel 4.2 Hasil <i>recovery</i> Fe setelah pelindian dengan reagen asam sitrat	31
Tabel 4.3 Hasil <i>recovery</i> Fe setelah pelindian dengan reagen MSG	32
Tabel 4.4 Hasil perbandingan persen <i>recovery</i> Fe setelah pelindian menggunakan reagen asam sitrat (C ₆ H ₈ O ₇) dan monosodium glutamate (MSG)	33
Tabel 4.5 Komposisi massa sampel optimal reagen asam sitrat (C ₆ H ₈ O ₇).....	41
Tabel 4.6 Komposisi massa sampel optimal reagen monosodium glutamate (MSG)	43
Tabel 4.7 Koefisien korelasi (R^2) unsur Fe menggunakan reagen asam sitrat (C ₆ H ₈ O ₇).....	44
Tabel 4.8 Koefisien korelasi (R^2) unsur Fe menggunakan reagen monosodium glutamate (MSG).....	45

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Besi merupakan salah satu logam yang banyak digunakan dalam bidang infrastruktur, konstruksi, transportasi dan industri. Keberadaan besi di alam menempati posisi unsur keempat terbanyak di bumi. Besi termasuk unsur utama pembentuk kerak bumi dengan kadar rata-rata di kerak bumi mencapai 5% (Perkins, 2011). Berdasarkan *US Geological Survey* (2022), diperkirakan sumber daya besi dunia mencapai 800 milyar ton yang mengandung logam besi sekitar 230 milyar ton. Sedangkan cadangan bijih besi diperkirakan sebanyak 180 milyar ton yang mengandung logam besi sekitar 86 milyar ton.

Menurut Kementerian ESDM (2021) sumber daya bijih besi Indonesia diperkirakan kurang lebih 2,9 milyar ton atau 1,7% dari total sumber daya dunia. Endapan besi yang ditemukan di Indonesia, umumnya terdiri dari empat jenis endapan yaitu pasir besi, besi laterit atau bijih besi, besi primer dan besi sedimen (Ishlah, 2009). Laterit merupakan endapan residu yang dihasilkan dari pelapukan batuan secara kimiawi dan berlangsung dalam waktu yang panjang dengan kondisi iklim basah atau lembab (Yildirim *et al.*, 2012). Sifat-sifat dari

endapan laterit yaitu: memiliki tekstur yang terlihat jelas, komposisi mineral besi beragam dengan kadar besi berkisar antara 40 - 60% (Sutisna, 2007). Laterit salah satu sumber utama logam besi, selain itu juga terdapat kandungan logam lain seperti mangan, kobalt dan nikel (Perkins, 2011).

Teknologi pengolahan laterit terdiri dari dua, yaitu pirometalurgi dan hidrometalurgi (Prasetiyo, 2015). Pirometalurgi melibatkan temperatur tinggi saat proses ekstraksi logam seperti: pengeringan, kalsinasi, pemanggangan (*roasting*), peleburan (*smelting*) dan membutuhkan energi yang lebih besar (Zhu *et al.*, 2012). Hidrometalurgi dilakukan pada temperatur relatif rendah dengan cara pelindian menggunakan larutan kimia dan membutuhkan energi yang lebih rendah (Solihin, 2018). Keunggulan metode hidrometalurgi yaitu menghasilkan produk utama yang jauh lebih murni dan biaya operasional dipandang lebih ekonomis (Whittington and Muir, 2008).

Pelindian merupakan proses ekstraksi zat dari padatan dengan cara melarutkannya dalam suatu zat pelarut (Majalis *et al.*, 2020). Pelindian pada hidrometalurgi umumnya menggunakan pelarut berupa asam dan basa (Habashi, 1993). Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Tzeferis and Leonardou (1994) mengenai pelindian nikel dan besi dari bijih laterit Yunani menggunakan asam organik. Pelindian dilakukan dengan dua jenis sampel bijih laterit Kastoria dan Litharackia dengan waktu pelindian 40 dan 50 hari, konsentrasi asam sitrat: 0,1 M; 0,2 M; 0,3 M; 0,4 M; dan 0,5 M dengan suhu pelindian 30°C. Dari hasil penelitian ini diperoleh penggunaan asam sitrat pada sampel bijih laterit Kastoria sebagai

pelarut untuk *recovery* Fe tertinggi sebesar 61,2% pada konsentrasi 0,5 M dengan waktu pelindian 40 hari dan suhu 30°C, sedangkan pada sampel bijih laterit Litharackia *recovery* Fe tertinggi sebesar 25,8% pada konsentrasi 0,5 M dengan waktu pelindian 50 hari dan suhu 30°C.

Adapun penelitian lainnya yang dilakukan oleh Prasetyo *et al.*, (2020) tentang monosodium glutamate sebagai pelarut selektif pada pelindian debu tungku busur listrik (EAFD) dengan variasi konsentrasi MSG: 0,5 M; 1 M; 1,5 M; dan 2 M, variasi pH: 6, 7, 8, 9, 10, dan 11, waktu pelindian 12 jam dan suhu 20°C. Dari hasil penelitian ini diperoleh penggunaan MSG untuk *recovery* Fe tertinggi sebesar 20% pada konsentrasi 2 M dengan pH 9.

Berdasarkan penelitian-penelitian diatas, maka dilakukan pelindian besi dari tailing reduksi laterit menggunakan reagen asam sitrat dan monosodium glutamate dengan memvariasi suhu dan waktu untuk mengetahui pengaruhnya. Karakterisasi yang digunakan yaitu: *Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy* (ICP-OES), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Field Emission Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy* (FESEM-EDS).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi suhu dan waktu terhadap persen *recovery*, struktur fasa, dan morfologi besi dari tailing reduksi laterit?

2. Bagaimana pengaruh variasi reagen asam sitrat ($C_6H_8O_7$) dan monosodium glutamate (MSG) terhadap persen *recovery*, struktur fasa, dan morfologi besi dari tailing reduksi laterit?
3. Bagaimana model kinetika yang tepat pada pelindian besi dari tailing reduksi laterit?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi suhu dan waktu terhadap persen *recovery*, struktur fasa, dan morfologi besi dari tailing reduksi laterit.
2. Mengetahui pengaruh variasi reagen asam sitrat ($C_6H_8O_7$) dan monosodium glutamate (MSG) terhadap persen *recovery*, struktur fasa, dan morfologi besi dari tailing reduksi laterit.
3. Mengetahui model kinetika yang tepat pada pelindian besi dari tailing reduksi laterit.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bahan yang digunakan adalah tailing reduksi laterit.
2. Karakterisasi bahan sebelum dilakukan pelindian menggunakan ICP-OES.
3. Pelindian dilakukan dengan memvariasi:
 - a. Suhu: 30, 60, 90°C.
 - b. Waktu: 30, 60, 90, 120 menit.

- c. Reagen: asam sitrat ($C_6H_8O_7$) 1,5 M dan monosodium glutamate (MSG) 1,5 M.
4. Kecepatan pengadukan 250 rpm dan oksidator hidrogen peroksida (H_2O_2) 1% dengan penambahan NaOH pekat sampai pH 9.
5. Sampel dikarakterisasi menggunakan ICP-OES, XRD, dan FESEM-EDS.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Menambah pengetahuan penulis dan pembaca umumnya tentang proses pelindian menggunakan larutan berasal dari asam organik dan monosodium glutamate (MSG) yang bersifat ramah terhadap lingkungan.
2. Hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi mengenai *recovery* besi dari tailing reduksi laterit dan sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya.
3. Sebagai tambahan referensi di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Laterit

Laterit merupakan salah satu produk dari hasil pelapukan yang terjadi secara kimiawi dan berlangsung dalam waktu yang lama. Laterit muncul saat proses pemecahan mineral induk yang tidak stabil pada kondisi lingkungan yang lembab, hangat dan terbentuk di daerah subtropis atau tropis yang dicirikan kaya akan unsur besi dan aluminium (Robb, 2005). Keberadaan endapan laterit dapat ditemukan di tanah dengan kedalaman 10-50 meter (Watling *et al.*, 2011). Secara umum terdapat tiga lapisan atau zona berbeda dari endapan laterit yaitu:

1. Zona Limonit

Lapisan ini pada umumnya berwarna coklat muda sampai kekuningan yang didominasi oleh mineral gutit, hematit, magnetit, limonit, dan kromit. Pada lapisan ini terdapat bagian transisi yang kaya akan besi dan magnesium, biasanya terletak diantara lapisan limonit dan lapisan saprolit, yang umumnya berwarna merah.

2. Zona Saprolit






Lapisan ini pada umumnya berwarna coklat kekuningan sampai kehijauan yang mengandung mineral serpentin dan olivin. Lapisan ini terdiri dari batuan

dasar berukuran halus hingga *boulder* (besar) yang sudah lapuk kaya akan magnesium dan elemen basal.

3. Zona *Fresh Rock*

Lapisan ini pada umumnya berwarna abu kehijauan dan merupakan bagian terbawah dari endapan laterit. Terdiri dari bongkahan batuan dasar yang tidak mengandung mineral ekonomis (Elias, 2002).

Endapan laterit pada lapisan limonit memiliki kandungan besi berkisar antara 20-50%. Selain kandungan besi, pada lapisan ini juga ditemukan kandungan nikel mencapai 1,5% dan kobalt dengan kadar mencapai 0,2%. Sedangkan pada lapisan saprolit memiliki kandungan nikel dengan kadar mencapai 3% dan besi mencapai 25%. Endapan laterit disajikan pada Gambar 2.1.

Profil Laterit	Zona	Analisis Perkiraan (%)			
		Ni	Co	Fe	MgO
	Red Limonit	<0,8	<0,1	>50	<0,5
	Yellow Limonit	0,8-1,5	0,1-0,2	40-50	0,5-5
	Transisi	1,5-4	0,02-0,1	25-40	5-15
	Saprolit	1,8-3		10-25	15-35
	<i>Fresh Rock</i>	0,3	0,01	5	35-45

Gambar 2.1 Endapan Laterit (Elias, 2002)

Proses pembentukan endapan laterit dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: jenis batuan asal, iklim, topografi, stabilitas mineral, mobilitas unsur, tingkat

pelapukan, dan kondisi lingkungan yang berpengaruh terhadap tingkat kelarutan mineral (Isjudarto, 2013).

2.2 Besi

Besi merupakan logam berwarna abu-abu perak yang berkilau, liat dan dapat dibentuk. Dalam tabel periodik, besi termasuk logam golongan VIII B, dengan nomor atom 26, massa jenis $7,86 \text{ g/cm}^3$ dan titik lebur 1538°C (Budiyanto and Handono, 2020). Karakter besi yang terdapat di alam biasanya berupa endapan logam yang bergabung dengan mineral logam lainnya seperti Cu, Ni, Zn dan Co (Novrianti *et al.*, 2018).

Besi biasanya ditemukan dalam berbagai mineral, diantaranya: hematite, magnetite, limonite, dan siderite (Sriatun *et al.*, 2012). Adapun klasifikasi jenis-jenis mineral berdasarkan kandungan besi (Fe) dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi jenis-jenis mineral berdasarkan kandungan besi (Fe)

Mineral	Susunan Kimia	Kandungan Fe (%)	Warna
Magnetite	Fe_3O_4	56	hitam
Hematite	Fe_2O_3	40 - 65	coklat kemerahan
Limonite	$\text{FeO}(\text{OH})$	20 - 55	coklat
Siderite	FeCO_3	30	coklat kekuningan

Sumber: (Amanto and Daryanto, 1999)

2.3 Pengolahan Laterit

Pengolahan laterit telah dilakukan dari tahun 1970-an. Secara komersial laterit yang diolah terdiri dari limonit dan saprolit. Tujuan pengolahan laterit diantaranya: memproduksi feronikel (FeNi) atau *nickel matte*, memproduksi NPI (*Nickel Pig Iron*) untuk membuat *stainless steel* (Bahfie *et al.*, 2021).

Metode pengolahan laterit ada 2, yaitu pirometalurgi dan hidrometalurgi. Pirometalurgi merupakan suatu metode yang digunakan dalam pengolahan laterit menggunakan temperatur tinggi. Proses ini membutuhkan tanur sebagai komponen utama dalam memproses bijih mineral (Suhaimi and Indrawati, 2022). Proses pirometalurgi dibagi menjadi empat tahapan yaitu: *drying*, *reduction* atau *calcination*, *smelting*, dan *refining* (Kyle, 2010).

Hidrometalurgi merupakan proses ekstraksi yang dilakukan pada suhu relatif rendah menggunakan larutan cair atau organik untuk melarutkan logam tertentu (Kinoshita *et al.*, 2003). Proses ekstraksi logam dengan metode hidrometalurgi terdiri dari tiga tahapan yaitu: *leaching* atau pengikisan logam dari batuan dengan bantuan reduktan organik, pemekatan larutan hasil *leaching* dan pemurniannya, *recovery* atau pengambilan logam dari larutan hasil *leaching* (Habashi, 1993). Faktor-faktor yang mempengaruhi hidrometalurgi diantaranya: ukuran partikel, kecepatan pengadukan, temperatur, waktu, pH dan konsentrasi reaktan (McDonald and Whittington, 2008).

Proses pengolahan laterit menggunakan metode hidrometalurgi dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti proses *Caron*, proses *high pressure acid leaching* (HPAL), dan proses *atmospheric pressure acid leaching* (APAL) (Suhaimi and Indrawati, 2022).

Proses *Caron* merupakan pelindian yang menggunakan larutan amonia. Proses *high pressure acid leaching* (HPAL) merupakan pelindian yang menggunakan tekanan tinggi dan reagen asam. Proses *atmospheric pressure acid leaching* (APAL) merupakan pelindian yang menggunakan tekanan atmosferis dan reagen asam (Kyle, 2010). Keunggulan menggunakan metode hidrometalurgi yaitu menghasilkan produk utama yang jauh lebih murni dan biaya operasionalnya lebih ekonomis (Wanta *et al.*, 2018).

2.4 Kinetika Pelindian

Kinetika dalam bidang ilmu kimia fisika merupakan studi untuk menganalisis seberapa cepat suatu reaksi berlangsung (Sieniutycz, 2016). Kinetika kimia disebut juga dinamika kimia, karena adanya gerakan molekul, elemen atau ion dalam mekanisme reaksi dan laju reaksi sebagai fungsi waktu. Mekanisme reaksi dapat ditinjau dengan bantuan pengukuran besaran termodinamika suatu reaksi seperti: tekanan, temperatur, dan kerapatan dengan mengamati arah jalannya reaktan maupun produk suatu sistem (Siregar, 2008).

Kinetika pelindian dilakukan untuk menentukan persamaan laju pelindian, mengetahui pengendali laju reaksi, menentukan konstanta laju reaksi, energi aktivasi reaksi dan model kinetiknya (Mubarok and Fathoni, 2016). Model kinetika pelindian untuk reaksi non katalitik terdiri dari dua, yaitu:

- a. Model kinetika konversi progresif atau *progressive conversion model* (PCM) adalah model kinetika yang menggambarkan masuknya gas reaktan ke dalam partikel dan bereaksi setiap saat pada tingkat dan lokasi yang berbeda.
- b. Model kinetika inti yang menyusut atau *shrinking core model* (SCM) merupakan model kinetika dengan perhitungan matematika yang menggambarkan fenomena reaksi fluida padatan.

(Levenspiel, 1999).

Dickinson and Heal (1999) telah menguji beberapa model kinetika agar sesuai dengan data percobaan, termasuk model kinetika inti menyusut (*shrinking core model*) diantaranya model reaksi kimia dan difusi lapisan abu yang ditunjukkan pada Persamaan (2.1) dan (2.2).

$$k_t = 1 - (1 - R)^{1/3} \quad (2.1)$$

$$k_t = 1 - 3(1 - R)^{2/3} + 2(1 - R) \quad (2.2)$$

Untuk model difusi film gas pada model kinetika partikel menyusut (*shrinking particle model*) ditunjukkan pada Persamaan (2.3).

$$k_t = 1 - (1 - R)^{2/3} \quad (2.3)$$

Keterangan:

k_t = Konstanta laju reaksi

R = Perolehan unsur pada waktu pelindian

Kesalahan relatif rata-rata atau *average relative error* (ARE) pada permodelan kinetika *shrinking core model* dijelaskan pada Persamaan (2.4):

$$ARE (\%) = \frac{100}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{R_{exp} - R_{mod}}{R_{exp}} \right)^2 \quad (2.4)$$

Keterangan:

ARE = Kesalahan relatif rata-rata

R_{exp} = Perolehan unsur pada waktu pelindian sebagai hasil percobaan

R_{mod} = Perolehan unsur pada waktu pelindian sebagai hasil model

Dengan menggunakan persamaan Arrhenius, perhitungan energi aktivasi (E_a) dapat dijelaskan pada Persamaan (2.5):

$$k = A \exp \left(-\frac{E_a}{RT} \right) \text{ atau } \ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad (2.5)$$

Keterangan:

k = Konstanta laju reaksi

A = Faktor frekuensi (L.s/mol)

E_a = Energi aktivasi (J/mol)

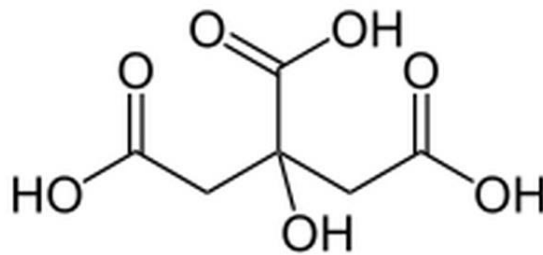
R = Konstanta gas (8,314 J/mol.K)

T = Suhu (K)

2.5 Asam Sitrat ($C_6H_8O_7$)

Asam sitrat merupakan asam organik yang banyak ditemukan pada buah tumbuhan genus *Citrus* (jeruk-jerukan) dan diperoleh dari ekstraksi buah-buahan atau hasil dari fermentasi (Krupavathi and Mangala, 2015). Rumus kimia asam

sitrat adalah $C_6H_8O_7$ atau $CH_2(COOH)-COH(COOH)-CH_2(COOH)$. Struktur asam ini tercermin pada nama IUPACnya, asam 2 hidroksi - 1, 2, 3 - propana trikarboksilat. Keasaman asam sitrat didapatkan dari tiga gugus karboksil COOH yang dapat melepas proton dalam larutan. Jika hal ini terjadi, ion yang dihasilkan adalah ion sitrat (Rowe *et al.*, 2009). Struktur molekul asam sitrat disajikan pada Gambar 2.2.

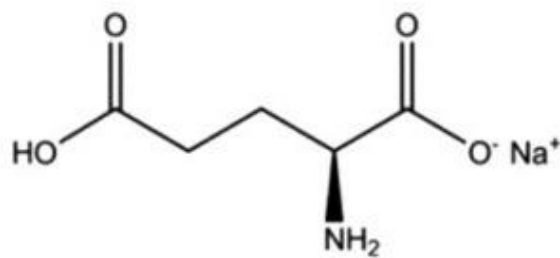


Gambar 2.2 Struktur molekul asam sitrat (Othmer, 1987)

Asam sitrat digunakan oleh banyak industri di dunia sebagai bahan baku produksi seperti industri makanan dan minuman, tekstil, farmasi, kosmetik, dan lainnya (Damayanti, 2010). Pada industri makanan dan minuman asam sitrat digunakan sebanyak 65%, sedangkan 20% digunakan pada industri deterjen rumah tangga dan sisanya pada industri lainnya. Asam sitrat juga digunakan sebagai pengawet, pencegah kerusakan warna dan aroma, menjaga turbiditas, penghambat oksidasi, penginvert sukrosa, penghasil warna gelap pada kembang gula, selai, jelly, dan pengatur pH (Sasmitaloka, 2017).

2.6 Monosodium Glutamate (MSG)

Monosodium glutamate (MSG) merupakan garam sodium *L-glutamic acid* yang berasal dari gabungan beberapa asam amino dengan jumlah kecil yang dihasilkan dari proses hidrolisis protein. Asam glutamat memiliki karakter fisik dan kimia yang dapat menjadi struktur sekunder dari protein (Yonata and Iswara, 2016). MSG memiliki ciri berupa serbuk kristal putih dengan rumus kimia $C_5H_8NO_4Na$, massa molar 187,127 g/mol, mempunyai sifat kelarutan 74 g/100 ml air, tetapi tidak bersifat higroskopis. MSG mengandung 77% asam glutamat, 22% sodium dan 1% air (Eweka *et al.*, 2010). Struktur molekul MSG disajikan pada Gambar 2.3.

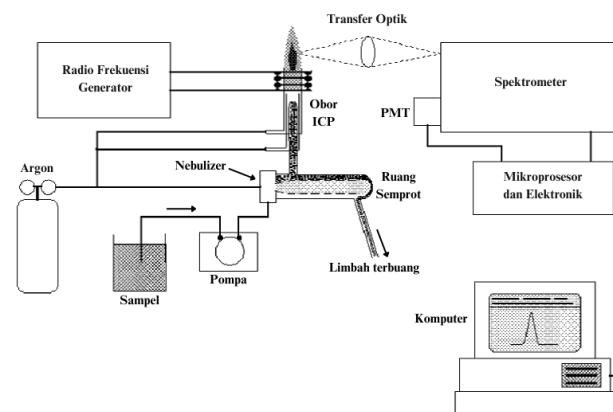


Gambar 2.3 Struktur molekul MSG (Yonata and Iswara, 2016)

Perusahaan asal Jepang yaitu Ajinomoto memproduksi MSG sebagai bumbu makanan. MSG telah dikonsumsi secara luas di dunia termasuk Indonesia dalam bentuk *L-glutamic acid* sebagai bahan penambah rasa makanan. Masyarakat Indonesia rata-rata mengkonsumsi MSG sekitar 0,6 g/kg BB (Löliger, 2000). MSG juga berfungsi sebagai pereaksi dalam proses ekstraksi seperti pelindian dalam kondisi basa menyebabkan glutamat terikat kuat pada ion logam dan secara selektif dapat memperkaya unsur-unsur yang tidak diinginkan seperti Fe, Al, Mg, dan Ca dalam padatan residu (Bahfie *et al.*, 2022).

2.7 Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES)

Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) pertama kali digunakan pada awal tahun 1960 dengan tujuan meningkatkan teknik analisis pengukuran kandungan unsur-unsur logam pada sampel (Thomas, 2008). ICP-OES dapat menganalisis secara kualitatif dan kuantitatif unsur logam dalam sampel yang berwujud larutan dengan tingkat ketelitian dan sensitivitas yang tinggi (Boss and Fredeen, 2004). Skema ICP-OES disajikan pada Gambar 2.4.



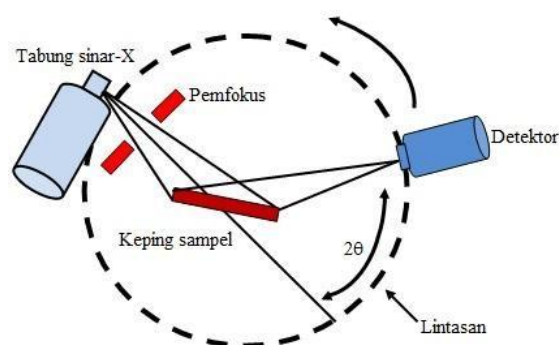
Gambar 2.4 Skema ICP-OES (Thomas, 2008)

Gambar 2.4 menunjukkan skema ICP-OES ketika sampel diubah menjadi aerosol oleh gas argon, selanjutnya diteruskan ke plasma dengan suhu tinggi sekitar 6000-10.000 K mengakibatkan aerosol menguap dengan cepat. Tumbukan eksitasi pada plasma memberikan energi tambahan pada atom yang menyebabkan atom dalam keadaan tereksitasi. Ion yang melewati emisi dari foton akan membentuk energi yang dapat menentukan energi kuantitas pada atom atau ion, sehingga panjang gelombang dari foton digunakan untuk mengidentifikasi keadaan awal dimana jumlah foton akan berbanding lurus dengan konsentrasi unsur pada sampel. Foton yang diemisikan melalui ICP difokuskan menggunakan optik pemfokus yang

nantinya akan memberikan jalur satu arah seperti monokromator sehingga panjang gelombang melewati spektrometer dan diubah menjadi sinyal listrik oleh fotodetektor. Sinyal diperkuat dan diproses oleh detektor elektronik, kemudian ditampilkan dan disimpan oleh komputer (Hou and Jones, 2000).

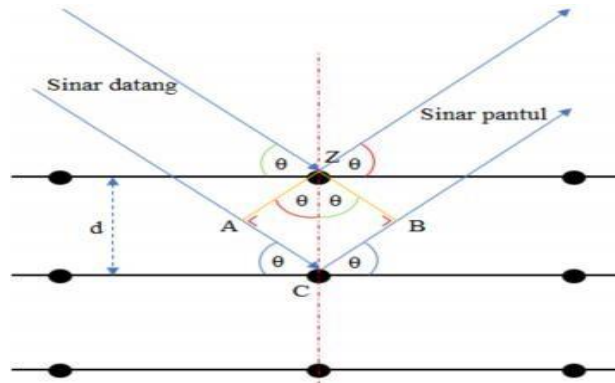
2.8 X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) salah satu metode karakterisasi yang menggunakan hamburan elektron untuk menganalisis struktur fasa suatu material. Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang antara 0.5 \AA - 2.5 \AA dan memiliki energi dalam rentang 125 eV - 125 keV (Manurung, 2019). Saat sinar-X dengan panjang gelombang λ diarahkan ke permukaan sampel menyebabkan sebagian berkas sinar-X tersebar pada arah tertentu dan menghasilkan puncak-puncak difraksi yang dapat diamati dengan peralatan XRD (Cullity, 1992). Skema difraksi sinar-X ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skema difraksi sinar-X (Cullity, 1992)

Gambar 2.5 menunjukkan skema saat tabung sinar-X menembakkan sinar-X yang melewati pemfokus dan mengenai sampel kemudian detektor segera bergerak sepanjang lintasannya untuk mendeteksi berkas sinar-X yang didifraksikan oleh sampel sesuai dengan prinsip Hukum Bragg. Skema Hukum Bragg disajikan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Skema Hukum Bragg (Brady, 1999)

Gambar 2.6 menunjukkan sinar datang yang atas menumbuk titik Z dan kemudian sinar dipantulkan. Begitu pula dengan sinar datang yang bawah menumbuk titik C dengan tambahan jarak $AC + CB$, maka dituliskan:

$$n\lambda = AC + CB \quad (2.6)$$

$$\sin \theta = \frac{AC}{ZC} = \frac{AC}{d}$$

$$d \sin \theta = AC \quad (2.7)$$

Bahwa $AC = CB$, maka Persamaan (2.6) menjadi:

$$n\lambda = AC + CB$$

$$n\lambda = 2AC \quad (2.8)$$

Kemudian Persamaan (2.8) disubstitusikan ke Persamaan (2.7):

$$d \sin \theta = AC$$

$$d \sin \theta = \frac{1}{2} n \lambda$$

$$2d \sin \theta = n \lambda \quad (2.9)$$

Keterangan:

d = jarak antar bidang (m)

$n = 1, 2, 3, \dots$ (menunjukkan orde pertama, kedua, ketiga, dan seterusnya)

λ = panjang gelombang (m)

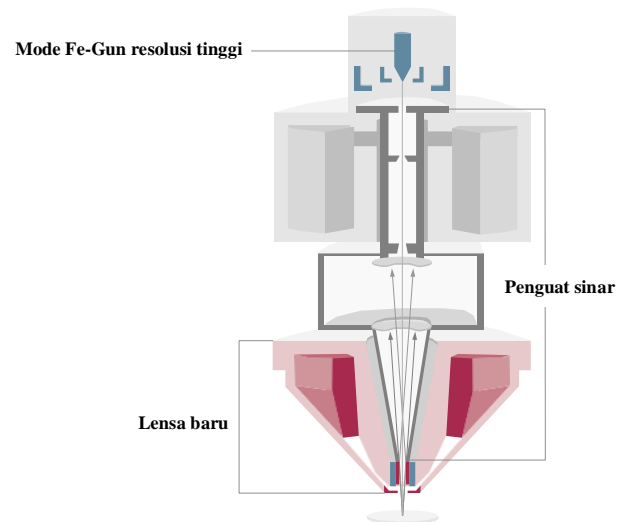
θ = sudut difraksi

Persamaan (2.9) disebut dengan Hukum Bragg. Hukum Bragg berlaku jika $\lambda \leq 2d$, sehingga tidak dapat menggunakan cahaya kasat mata (Beiser, 2003).

2.9 Field Emission Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy (FESEM-EDS)

Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM) merupakan metode analisis untuk mengetahui morfologi permukaan suatu sampel dan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) merupakan metode analisis untuk mengetahui persentase unsur kimia yang terkandung pada sampel. FESEM menghasilkan pencitraan resolusi sangat tinggi pada potensial listrik yang rendah sekitar 0,5-30 kV sehingga menghasilkan gambar yang jelas dan tidak terdistorsi. FESEM memiliki daya pisah dalam skala nano dengan kemampuan

perbesaran sekitar 10-300.000 kali (Hak *et al.*, 2015). Skema FESEM-EDS disajikan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Skema FESEM-EDS (Boese *et al.*, 2016)

Gambar 2.7 menunjukkan mode *field emitter gun* resolusi tinggi secara langsung menembakkan berkas elektron yang difokuskan oleh lensa elektromagnetik untuk memindai permukaan sampel, dimana elektron yang dipantulkan menciptakan gambar permukaan dan topografi sampel.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Maret sampai Mei 2023 di Laboratorium Hidro-Elektro Metalurgi dan Laboratorium Analisis Kimia Balai Penelitian Teknologi Mineral-Badan Riset dan Inovasi Nasional (BPTM-BRIN) Lampung.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah: gelas beaker, gelas ukur, labu ukur, pipet tetes, corong, kertas saring *whatman*, *magnetic stirrer bar*, *hot plate*, pH meter digital, spatula, neraca digital, plastik *zipper*, botol sampel, ICP-OES, XRD, dan FESEM-EDS.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: tailing reduksi laterit, aquades, asam sitrat ($C_6H_8O_7$) 1,5 M, monosodium glutamate (MSG) 1,5 M, hidrogen peroksida (H_2O_2) 1% dan NaOH pekat.

3.3 Metode Penelitian

Metode yang dilakukan pada penelitian ini meliputi: preparasi bahan, pembuatan larutan asam sitrat, pembuatan larutan MSG, pelindian asam sitrat dengan tailing reduksi laterit, pelindian MSG dengan tailing reduksi laterit, karakterisasi filtrat larutan pelindian awal, pelindian ulang asam sitrat dengan tailing reduksi laterit, pelindian ulang MSG dengan tailing reduksi laterit, dan karakterisasi.

3.3.1 Preparasi Bahan

Proses preparasi bahan dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

1. Bahan baku tailing reduksi laterit disiapkan.
2. Tailing reduksi laterit diayak dengan ayakan ukuran 200 *mesh*.
3. Hasil ayakan halus dimasukkan ke dalam plastik *zipper*.

3.3.2 Pembuatan Larutan Asam Sitrat

Proses pembuatan larutan asam sitrat dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

1. Asam sitrat sebanyak 28,8 gram dimasukkan ke dalam gelas beaker.
2. Aquades sebanyak 50 ml dimasukkan ke dalam gelas beaker kemudian di-*stirrer*.
3. Larutan asam sitrat dimasukkan ke dalam labu ukur 100 ml kemudian ditambahkan aquades sampai batas tera dan diaduk sampai tercampur dengan sempurna.

3.3.3 Pembuatan Larutan MSG

Proses pembuatan larutan MSG dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

1. MSG sebanyak 28,069 gram dimasukkan ke dalam gelas beaker.
2. Aquades sebanyak 50 ml dimasukkan ke dalam gelas beaker kemudian di-*stirrer*.
3. Larutan MSG dimasukkan ke dalam labu ukur 100 ml kemudian ditambahkan aquades sampai batas tera.
4. Hidrogen peroksida 1% dimasukkan ke dalam larutan dan diaduk sampai tercampur dengan sempurna.
5. Larutan dari labu ukur dipindahkan ke dalam gelas beaker kemudian ditambahkan NaOH pekat sampai pH larutan menjadi 9.

3.3.4 Pelindian Asam Sitrat dengan Tailing Reduksi Laterit

Pelindian asam sitrat dengan tailing reduksi laterit dilakukan dengan tahap sebagai berikut:

1. Tailing reduksi laterit ditimbang sebanyak 5 gram dan dimasukkan ke dalam gelas beker 150 ml.
2. Larutan asam sitrat disiapkan sebanyak 100 ml dan dituang ke dalam gelas beaker yang sudah berisi tailing reduksi laterit.
3. *Magnetic stirrer bar* dimasukkan ke dalam gelas beaker dan diletakkan di atas *hot plate*.
4. Pelindian dilakukan pada suhu 30°C dengan waktu 30, 60, 90, 120 menit dengan kecepatan pengadukan 250 rpm.

5. Langkah 1-3 diulangi untuk pelindian pada suhu 60°C dan 90°C dengan waktu 30, 60, 90, 120 menit dan kecepatan pengadukan 250 rpm.
6. Filtrat larutan pelindian diambil sebanyak 10 ml menggunakan pipet tetes setiap rentang waktu 30, 60, 90, 120 menit.

3.3.5 Pelindian MSG dengan Tailing Reduksi Laterit

Pelindian MSG dengan tailing reduksi laterit dilakukan dengan tahap sebagai berikut:

1. Tailing reduksi laterit ditimbang sebanyak 5 gram dan dimasukkan ke dalam gelas beker 150 ml.
2. Larutan MSG disiapkan sebanyak 100 ml dan dituang ke dalam gelas beaker yang sudah berisi tailing reduksi laterit.
3. *Magnetic stirrer bar* dimasukkan ke dalam gelas beaker dan diletakkan di atas *hot plate*.
4. Pelindian dilakukan pada suhu 30°C dengan waktu 30, 60, 90, 120 menit dengan kecepatan pengadukan 250 rpm.
5. Langkah 1-3 diulangi untuk pelindian pada suhu 60°C dan 90°C dengan waktu 30, 60, 90, 120 menit dan kecepatan pengadukan 250 rpm.
6. Filtrat larutan pelindian diambil sebanyak 10 ml menggunakan pipet tetes setiap rentang waktu 30, 60, 90, 120 menit.

3.3.6 Karakterisasi Filtrat Larutan Pelindian Awal

Karakterisasi filtrat larutan pelindian awal dilakukan dengan tahap sebagai berikut:

1. Filtrat larutan pelindian sebanyak 10 ml tiap rentang waktu 30, 60, 90, 120 menit dikarakterisasi menggunakan ICP-OES.
2. Kinetika pelindian model reaksi kimia dihitung dengan Persamaan (2.1).
3. Kinetika pelindian model difusi lapisan abu dihitung dengan Persamaan (2.2).
4. Kinetika pelindian model difusi film gas dihitung dengan Persamaan (2.3).
5. Hasil karakterisasi menunjukkan sampel dengan reagen asam sitrat dan MSG yang optimal dan tidak optimal kemudian dilakukan pelindian ulang.

3.3.7 Pelindian Ulang Asam Sitrat dengan Tailing Reduksi Laterit

Pelindian ulang asam sitrat dengan tailing reduksi laterit dilakukan dengan tahap sebagai berikut:

1. Tailing reduksi laterit ditimbang sebanyak 5 gram dan dimasukkan ke dalam gelas beker 150 ml.
2. Larutan asam sitrat disiapkan sebanyak 100 ml dan dituang ke dalam gelas beaker yang sudah berisi tailing reduksi laterit.
3. *Magnetic stirrer bar* dimasukkan ke dalam gelas beaker dan diletakkan di atas *hot plate*.
4. Pelindian I dilakukan pada suhu 30°C dengan waktu 30 menit dengan kecepatan pengadukan 250 rpm.

5. Langkah 1-3 diulangi untuk pelindian II pada suhu 90°C dengan waktu 120 menit dan kecepatan pengadukan 250 rpm.
6. Larutan pelindian disaring menggunakan kertas saring *whatman*.
7. Residu hasil pelindian dikeringkan untuk dianalisis menggunakan XRD dan FESEM-EDS.

3.3.8 Pelindian Ulang MSG dengan Tailing Reduksi Laterit

Pelindian ulang MSG dengan tailing reduksi laterit dilakukan dengan tahap sebagai berikut:

1. Tailing reduksi laterit ditimbang sebanyak 5 gram dan dimasukkan ke dalam gelas beker 150 ml.
2. Larutan MSG disiapkan sebanyak 100 ml dan dituang ke dalam gelas beaker yang sudah berisi tailing reduksi laterit.
3. *Magnetic stirrer bar* dimasukkan ke dalam gelas beaker dan diletakkan di atas *hot plate*.
4. Pelindian I dilakukan pada suhu 30°C dengan waktu 30 menit dengan kecepatan pengadukan 250 rpm.
5. Langkah 1-3 diulangi untuk pelindian II pada suhu 90°C dengan waktu 120 menit dan kecepatan pengadukan 250 rpm.
6. Larutan pelindian disaring menggunakan kertas saring *whatman*.
7. Residu hasil pelindian dikeringkan untuk dianalisis menggunakan XRD dan FESEM-EDS.

3.3.9 Karakterisasi

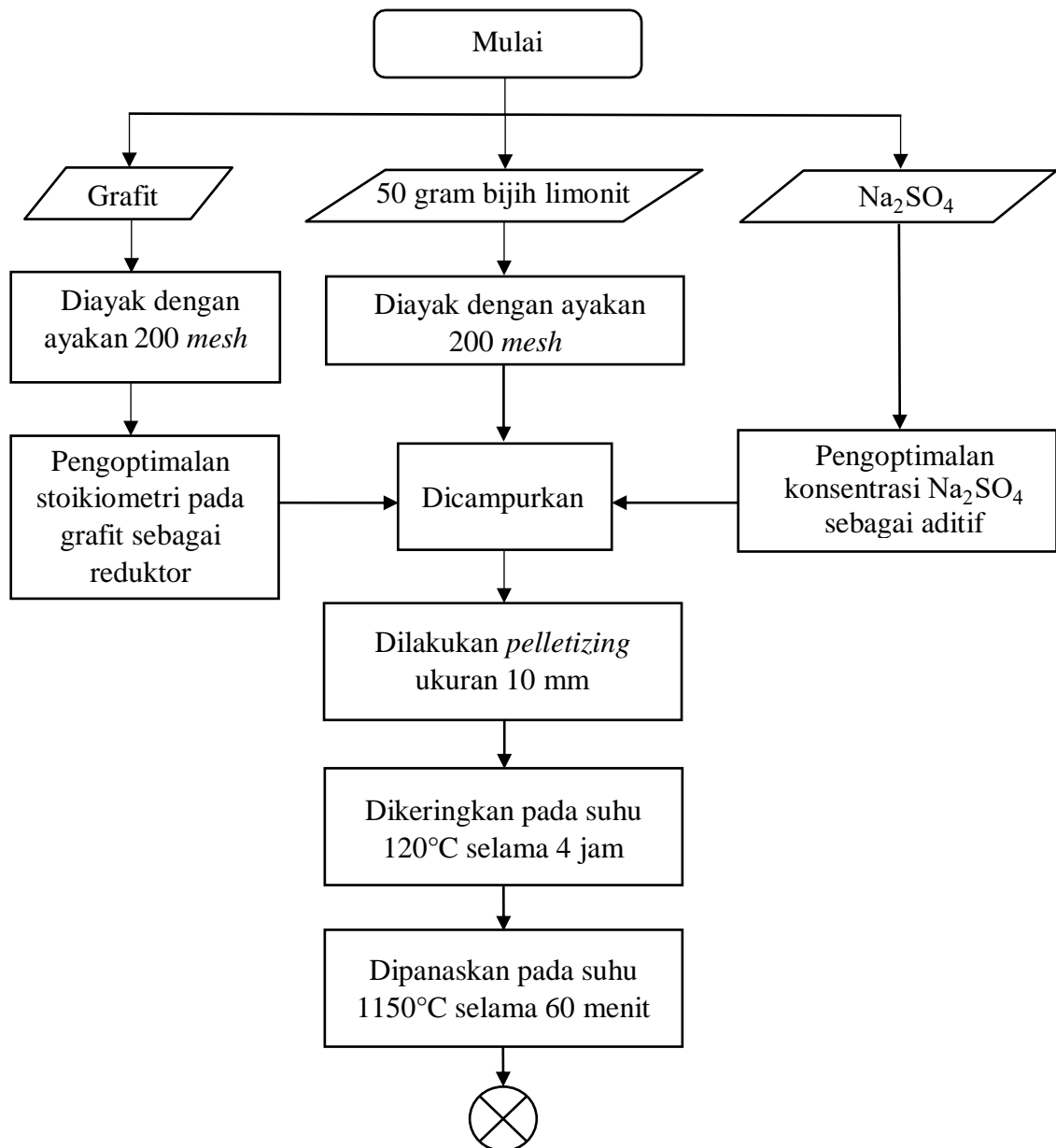
Sampel dikarakterisasi menggunakan *Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy* (ICP-OES), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Field Emission Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy* (FESEM-EDS).

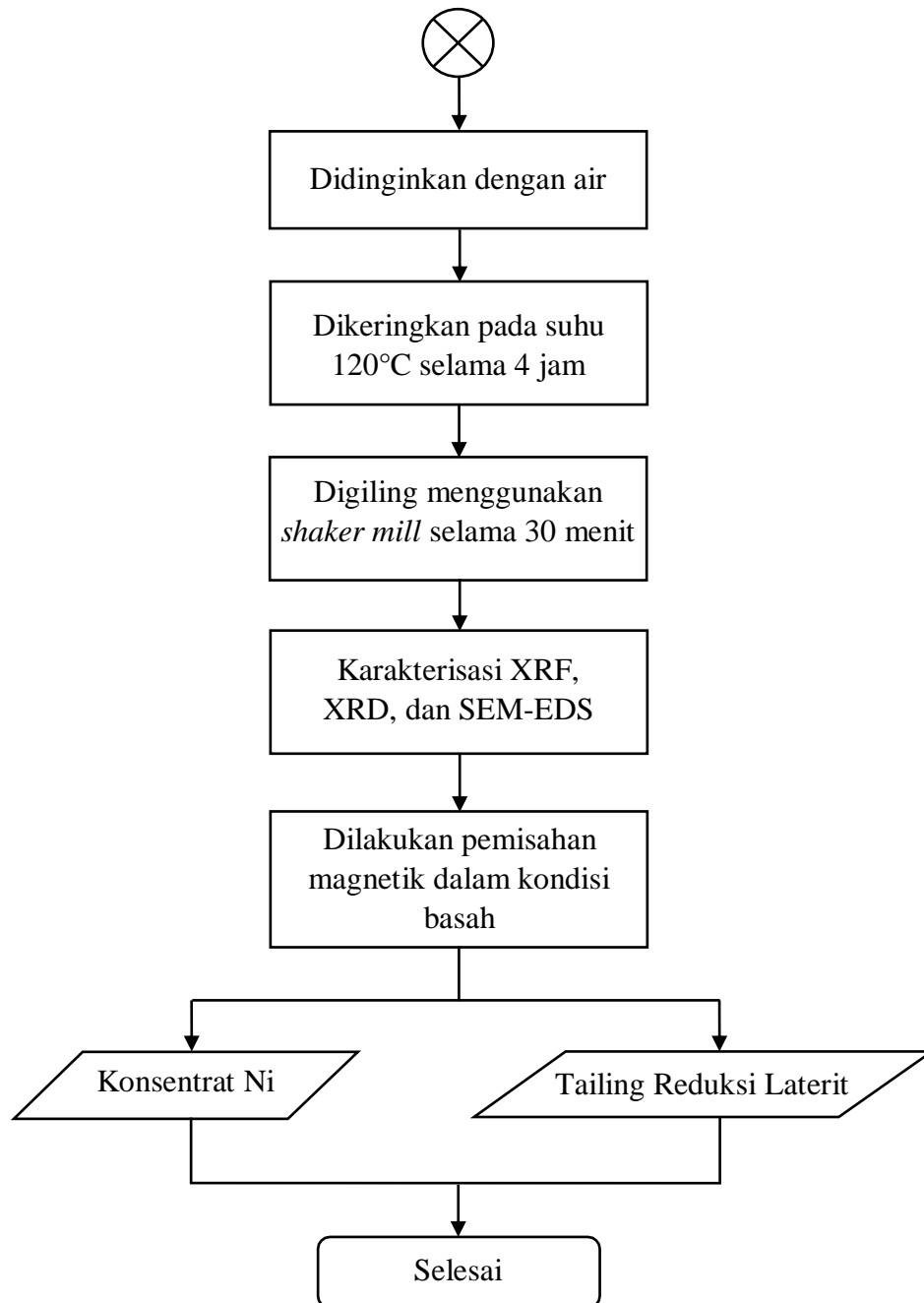
3.4 Diagram Alir

Diagram alir pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.

1. Diagram Alir Preparasi Bahan

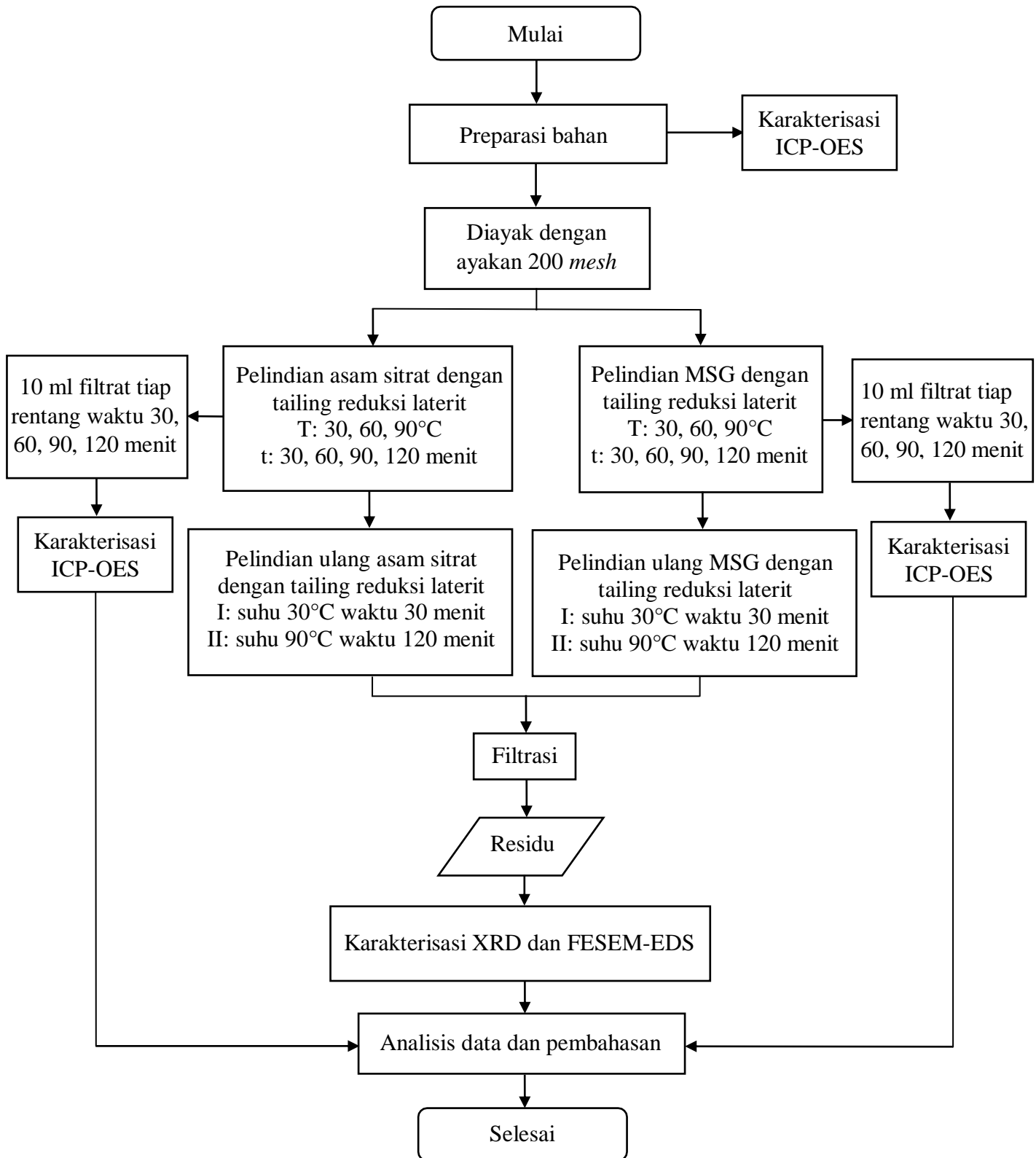
Bahan pada penelitian ini berasal dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Bahfie *et al.*, (2021) mengenai pengolahan bijih limonit menggunakan jalur pirometalurgi dengan proses reduksi selektif yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1. Diagram Alir Preparasi Bahan

2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil karakterisasi ICP-OES pada sampel optimal pelindian tailing reduksi laterit menggunakan reagen asam sitrat ($C_6H_8O_7$) pada suhu $90^\circ C$ selama 120 menit menghasilkan persen *recovery* Fe sebesar 77,2% dan reagen monosodium glutamate (MSG) pada suhu $90^\circ C$ selama 120 menit menghasilkan persen *recovery* Fe sebesar 11,5%.
2. Hasil karakterisasi XRD pada sampel optimal dan tidak optimal pelindian tailing reduksi laterit menggunakan reagen asam sitrat ($C_6H_8O_7$) menunjukkan fasa yang terbentuk adalah *magnesioferrite* ($MgFe_2O_4$), *olivine* ($(Mg, Fe)_2SiO_4$), dan *wuestite* (FeO). Sedangkan sampel optimal dan tidak optimal pelindian tailing reduksi laterit menggunakan reagen monosodium glutamate (MSG) menunjukkan fasa yang terbentuk adalah *magnesioferrite* ($MgFe_2O_4$), *wuestite* (FeO), *forsterite* (Mg_2SiO_4), *diiron silicide* (Fe_2Si), dan *quartz* (SiO_2).
3. Hasil karakterisasi FESEM pada sampel optimal pelindian tailing reduksi laterit menggunakan reagen asam sitrat ($C_6H_8O_7$) menunjukkan morfologi permukaan sampel berbentuk gumpalan tidak beraturan. Hasil EDS menunjukkan penyebaran unsur yang paling dominan adalah Fe dan Al.

Sedangkan sampel optimal pelindian tailing reduksi laterit menggunakan reagen monosodium glutamate (MSG) menunjukkan morfologi permukaan sampel berbentuk gumpalan yang lebih halus. Hasil EDS menunjukkan penyebaran unsur yang paling dominan adalah Fe, Al, dan Si.

4. Model kinetika yang tepat pada penelitian ini yaitu menggunakan *shrinking particle model* (SPM) dan pengendali laju reaksi pelindian untuk unsur Fe dikontrol oleh difusi film gas dengan energi aktivasi ketika menggunakan reagen asam sitrat ($C_6H_8O_7$) sebesar 18,98 kJ/mol dan reagen monosodium glutamate (MSG) sebesar 33,17 kJ/mol.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Melakukan pelindian tailing reduksi laterit menggunakan reagen asam sitrat ($C_6H_8O_7$) dengan konsentrasi di bawah 1,5 M.
2. Melakukan pelindian tailing reduksi laterit menggunakan reagen monosodium glutamate (MSG) dengan konsentrasi di atas 1,5 M.
3. Menambah variasi waktu pelindian lebih dari 2 jam untuk mendapatkan hasil persen *recovery* Fe yang besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Amanto, H. and Daryanto, D. 1999. *Ilmu Bahan*. PT Bumi Aksara. Jakarta.
- Bahfie, F., Manaf, A., Astuti, W. and Nurjaman, F. 2021. Studies on Reduction Characteristics of Limonite and Effect of Sodium Sulphate on The Selective Reduction to Nickel. *Journal of The Institution of Engineers India Series D*. Vol. 102, No. 1, Pp.149-157.
- Bahfie, F., Manaf, A., Astuti, W., Nurjaman, F. and Herlina, U. 2021. Tinjauan Teknologi Proses Ekstraksi Bijih Nikel Laterit. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*. Vol. 17, No. 3, Pp. 135-152.
- Bahfie, F., Manaf, A., Astuti, W., Nurjaman, F., Suharto, S., Herlina, U., Adi, W. A. and Manawan, M. 2023. Composition of Tailings after Selective Reduction of Laterite. *Izvestiya Ferrous Metallurgy*. Vol. 66, No. 1, Pp. 127-132.
- Bahfie, F., Supriadi, M. R., Oediyani, S., Nurjaman, F., Astuti, W., Prasetyo, E. and Susanti, D. 2022. Use of Monosodium Glutamate (MSG) for Green Leaching Process: An Overview. *Periodico di Mineralogia*. Vol. 91, No. 2, Pp. 155-162.
- Beiser, A. 2003. *Concepts of Modern Physics*. 6th Edition. McGraw-Hill. New York.
- Boese, M., Lenz, S., Han, L., Dietl, C., Meyer, S., Drexler, V. and Gamm, B. 2016. Novel Optical Design of Fields Emission SEMs. *Journal Nano Science and Technology*. Vol. 4, No. 1, Pp. 59-65.
- Boss, C. B. and Fredeen, K. J. 2004. *Concepts, Instrumentation, and Techniques in Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*. Third Edition. Perkin-Elmer. Shelton.
- Brady, J. E. 1999. *Kimia Universitas Asas dan Struktur*. Binarupa Aksara. Jakarta.

- Budiyanto, E. and Handono, S. D. 2020. *Pengujian Material*. CV. Laduny Alifatama. Metro.
- Cullity, B. D. 1978. *Element of X-Ray Diffraction*. Second Edition. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. Boston.
- Damayanti, O. 2010. Pabrik Asam Sitrat dari Nira Siwalan dengan Proses Submerged Fermentation. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Dickinson, C. F. and Heal, G. R. 1999. Solid-liquid Diffusion-controlled Rate Equations. *Thermochimica Acta*. Vol. 340, No. 1, Pp. 89-103.
- Elias, M. 2002. Nickel Laterite Deposits - Geological Overview, Resources, and Exploitation. *Centre for One Deposit Research University of Tasmania Special Publication*. Vol. 4, No. 1, Pp. 205-220.
- Eweka A. O., Eweka, A. and Om'Iniabo, F. A. 2010. Histopathological Studies of The Effects of Monosodium Glutamate of The Fallopian Tubes of Adult Female Wistar Rats. *North American Journal of Medical Sciences*. Vol. 2, No. 3, Pp. 146-149.
- Gharabaghi, M., Irannajad, M. and Azadmehr, A. R. 2013. Leaching Kinetics of Nickel Extraction from Hazardous Waste by Sulphuric Acid and Optimization Dissolution Conditions. *Chemical Engineering Research and Design*. Vol. 91, No. 2, Pp. 325-331.
- Habashi, F. 1993. *A Textbook of Hydrometallurgy*. Second Edition. Metallurgie Extractive Quebec. Quebec.
- Hak, C. R. C., Foo, C. T., Othman, N. A. F., Shukri, N. A., Ripin, M. S., Sulaiman, M. Y. M. and Abdullah, Y. 2015. Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) Facility in BTI. *INIS Repository*. Vol. 47, No. 45, Pp. 1-6.
- Hou, X. and Jones, B. T. 2000. *Inductively Coupled Plasma/Optical Emission Spectrometry*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Isjudarto, A. 2013. Pengaruh Morfologi Lokal terhadap Pembentukan Nikel Laterit. *Seminar Nasional ke-8 Tahun 2013: Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi*. Hal. 10-12.

- Kinoshita, T., Akita, S., Kobayashi, N., Nii, S., Kawaizumi, F. and Takahashi, K. 2003. Metal Recovery from Non-Mounted Printed Wiring Boards Via Hydrometallurgical Processing. *Hydrometallurgy*. Vol. 69, No. 1, Pp. 73-79.
- Krupavathi, M. and Mangala, D. S. 2015. Full Length Research Article Production of Citric Acid – A Short Review. *International Journal of Development Research*. Vol. 5, No. 4, Pp. 4002-4006.
- Kursunoglu, S. and Kaya, M. 2015. Dissolution Behaviour of Caldag Lateritic Nickel Ore Subjected to a Sequential Organic Acid Leaching Method. *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*. Vol. 22, No. 11, Pp. 1131-1140.
- Kyle, J. 2010. *Nickel Laterite Processing Technologies—Where to Next*. Murdoch University Repository. Perth.
- Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction Engineering*. Third Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Löfger, J. 2000. Function and Importance of Glutamate for Savory Foods. *The Journal of Nutrition*. Vol. 130, No. 4, Pp. 915S-920S.
- Majalis, A. N., Permatasari, N. V., Novitasari, Y., Wicaksono, N., Armin, D. and Pratiwi, R. 2020. Kajian Awal Produksi Fero Sulfat dari Slag Nikel Melalui Proses Pelindian Menggunakan Asam Sulfat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. Vol. 18, No. 1, Pp. 31-38.
- Manurung, P. 2019. *Analisis Data Difraksi Sinar-X*. CV. Anugrah Utama Raharja. Bandar Lampung.
- McDonald, R. G. and Whittington, B. I. 2008. Atmospheric Acid Leaching of Nickel Laterites Review: Part I. Sulphuric Acid Technologies. *Hydrometallurgy*. Vol. 91, No. 1, Pp. 35-55.
- Mubarok, M. Z. and Fathoni, M. W. 2016. Studi Kinetika Pelindian Bijih Nikel Limonit dari Pulau Halmahera dalam Lautan Asam Nitrat. *Metalurgi*. Vol. 31, No. 1, Pp. 1-68.
- Novrianti, M., Efendi, R. and Sandara. 2018. Identifikasi Mineralisasi Bijih Besi Menggunakan Metode Geomagnet di Desa Panglasiang Kabupaten Donggala. *Jurnal Universitas Tadulako*. Vol. 17, No. 1, Pp. 11-16.

- Othmer, K. 1987. *Encyclopedia of Chemical Technology*. Third Edition. John Wiley & Son, Inc. New York.
- Pawłowska, A. and Sadowski, Z. 2017. Influence of Chemical and Biogenic Leaching on Surface Area and Particle Size of Laterite Ore. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*. Vol. 53, No. 2, Pp. 869-877.
- Perkins, D. 2011. *Mineralogy*. Pearson Prentice Hall. New York.
- Prasetyo, P. 2015. Peluang Penelitian untuk Memperbaiki Teknologi Proses untuk Mengolah Bijih Nikel Laterit Kadar Rendah Indonesia. *Metalurgi*. Vol. 26, No. 2, Pp. 79-92.
- Prasetyo, E., Anderson, C., Nurjaman, F., Al Muttaqii, M., Handoko, A. S., Bahfie, F. and Mufakhir, F. R. 2020. Monosodium Glutamate as Selective Lixiviant for Alkaline Leaching of Zinc and Copper from Electric Arc Furnace Dust. *Metals*. Vol. 10, No. 5, Pp. 1-14.
- Prasetyo, E., Bahfie, F. and Handoko, A.S., 2021. Alkaline Leaching of Nickel from Electric Arc Furnace Dust Using Ammonia-Ammonium Glutamate as Lixiviant. In *Ni-Co 2021: The 5th International Symposium on Nickel and Cobalt*. Pp. 167-177.
- Roob, L. 2005. *Introduction to Ore-Forming Processes*. Blackwell Publishing. Hoboken.
- Rowe, R. C., Sheskey, P. and Quinn, M. 2009. *Handbook of Pharmaceutical Excipients*. The Pharmaceutical Press. London.
- Sasmitaloka, K. S. 2017. Produksi Asam Sitrat oleh *Aspergillus niger* pada Kultivasi Media Cair. *Jurnal Integrasi Proses*. Vol. 6, No. 3, Pp. 116-122.
- Sieniutycz, S. 2016. *Thermodynamic Approaches in Engineering Systems*. Elsevier. Amsterdam.
- Siregar, T. B. 2008. *Kinetika Kimia Reaksi Elementer*. USU Press. Medan.
- Solihin, S. 2018. Perilaku Pelarutan Logam Nikel dan Besi dari Bijih Nikel Kadar Rendah Sulawesi Tenggara. *Metalurgi*. Vol. 29, No. 2, Pp. 139-144.
- Sriatun, S. Taslimah, T. and Suhartana, S. 2012. *Kimia Unsur*. CV. Lestari Mediakreatif. Semarang.

- Suhaimi, L. and Indrawati, E. 2022. Pelindian Nikel Laterit Low-Grade Pomala Menggunakan Asam Organik dan Asam Inorganik pada Kondisi Atmosfir.
- Sutisna, D. T. 2007. Tinjauan Umum Potensi dan Pemanfaatan Cebakan Bijih Besi di Indonesia. *Bulletin Sumber Daya Geologi*. Vol. 1, No. 2, Pp. 10-15.
- Thomas, R. 2008. *Practical Guide To ICP-MS A Tutorial for Beginners*. Second Edition. CRC Press. Boca Raton.
- Tzeferis, P. G. and Agatzini-Leonardou, S. 1994. Leaching of Nickel and Iron from Greek Non-Sulphide Nickeliferous Ores by Organic Acids. *Hydrometallurgy*. Vol. 36, No. 3, Pp. 345-360.
- Wang, Z., Guo, S. and Ye, C. 2016. Leaching of Copper from Metal Powders Mechanically Separated from Waste Printed Circuit Boards in Chloride Media Using Hydrogen Peroxide as Oxidant. *Procedia Environmental Sciences*. Vol. 31, No. 1, Pp. 917-924.
- Wanta, K. C., Tanujaya, F. H., Susanti, R. F., Petrus, H. T. B. M., Perdana, I. and Astuti, W. 2018. Studi Kinetika Proses Atmospheric Pressure Acid Leaching Bijih Laterit Limonit Menggunakan Larutan Asam Nitrat Konsentrasi Rendah. *Jurnal Rekayasa Proses*. Vol. 12, No. 2, Pp. 77-84.
- Watling, H. R., Elliot, A. D., Fletcher, H. M., Robinson, D. J. and Sully, D. M. 2011. Ore Mineralogy of Nickel Laterites: Controls on Processing Characteristics Under Simulated Heap-leach Conditions. *Australian Journal of Earth Sciences*. Vol. 58, No. 7, Pp. 725-744.
- Whittington, B. I. and Muir, D. 2008. Pressure Acid Leaching of Nickel Laterites: A Review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. Vol. 21, No. 6, Pp. 527-599.
- Yildirim, H., Turan, A. and Yucel, O. 2012. *Nickel Pig Iron (NPI) Production From Domestic Lateritic Nickel Ores Using Induction Furnace*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Yonata, A. and Iswara, I. 2016. Efek Toksik Konsumsi Monosodium Glutamate. *Jurnal Majority*. Vol. 5, No. 3, Pp. 100-104.

Zhu, D. Q., Cui, Y., Vining, K., Hapugoda, S., Douglas, J., Pan, J. and Zheng, G. L. 2012. Upgrading Low Nickel Content Laterite Ores Using Selective Reduction Followed by Magnetic Separation. *International Journal of Mineral Processing*. Vol. 106, No. 1, Pp. 1-7.