

**STUDI KINETIKA *ATMOSPHERIC LEACHING* NIKEL
SAPROLIT MENGGUNAKAN ASAM SULFAT**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh:

Angelique Gloria Rotua
3334190057

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON-BANTEN**

2023

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI KINETIKA *ATMOSPHERIC LEACHING* NIKEL
SAPROLIT MENGGUNAKAN ASAM SULFAT**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

Pembimbing I



Ir. Soesaptri Oediyani, M.E.

NIP. 196006232003122001

Pembimbing II



Dr. Iwan Setiawan, S.Si., M.Si.

NIP. 197408282000031004

LEMBAR PERSETUJUAN

**STUDI KINETIKA *ATMOSPHERIC LEACHING* NIKEL
SAPROLIT MENGGUNAKAN ASAM SULFAT**

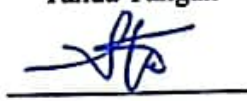


SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh:

Angelique Gloria Rotua

3334190057

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada 16 November 2023

	Susunan Dewan Penguji	Tanda Tangan
Penguji I	: Ir. Soesaptri Oediyani, M.E.	
Penguji II	: Dr. Iwan Setiawan, S.Si., M.Si.	
Penguji III	: Rahman Faiz Suwandana, S.T., M.S.	

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc.

NIP. 197804102003121001

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Studi Kinetika *Atmospheric Leaching* Nikel
Saprolit Menggunakan Asam Sulfat

Nama Mahasiswa : Angelique Gloria Rotua

NIM : 3334190057

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 31 Oktober 2023



Angelique Gloria Rotua

NIM. 3334190057

ABSTRAK

Bijih nikel terdiri dari nikel sulfida dan nikel laterit. Bijih nikel di dunia, yaitu sebesar 70% dikategorikan sebagai bijih nikel laterit. Lebih dari 60% pengolahan bijih nikel yang dilakukan saat ini menggunakan bijih nikel sulfida sebagai bahan baku. Dikarenakan semakin berkurangnya cadangan nikel sulfida, maka membuat industri di bidang metalurgi beralih untuk dapat mengolah bijih nikel laterit sebagai bahan baku. Nikel laterit dibagi menjadi limonit dan saprolit. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bijih nikel saprolit karena sebelumnya penelitian dengan menggunakan bijih nikel limonit telah dilakukan oleh Annisa Nabilah. Salah satu pengolahan nikel saprolit adalah *atmospheric leaching* menggunakan asam sulfat. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh persen ekstraksi nikel dengan kandungan >90%, menentukan laju pengendali pelindian kalsin nikel saprolit dan energi aktivasinya, mengetahui konsentrasi H_2SO_4 , temperatur, dan persen *solid/liquid* terbaik serta pengaruhnya terhadap persen ekstraksi nikel. Pada penelitian ini menggunakan bahan baku kalsin yang merupakan hasil reduksi bijih nikel saprolit yang berasal dari Pulau Gebe. Penelitian ini dilakukan dengan metode *atmospheric leaching* menggunakan reagen H_2SO_4 dengan variasi konsentrasi 0,1; 0,2; dan 0,5 M, variasi temperatur 30, 50, dan 70°C, variasi %S/L (w/w) 10, 15, 20% dan kecepatan pengadukan 200 rpm. Pada pelindian ini energi aktivasi yang diperoleh pada model kinetika *chemical reaction controlled* sebesar 8,77 kJ/mol, sedangkan energi aktivasi yang diperoleh pada model kinetika *diffusion reaction controlled* sebesar 15,10 kJ/mol. Laju pengendali reaksi pelindian kalsin nikel saprolit Pulau Gebe dikendalikan oleh *diffusion controlled*. Persen ekstraksi nikel tertinggi sebesar 91,20% yang diperoleh pada konsentrasi H_2SO_4 0,2 M, temperatur 70°C, serta waktu pelindian 120 menit.

Kata Kunci: pelindian, kalsin nikel saprolit, *atmospheric leaching*, energi aktivasi, persen ekstraksi.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan anugerah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Skripsi yang berjudul “Studi Kinetika *Atmospheric Leaching* Nikel Saprolit menggunakan Asam Sulfat” dengan baik. Dalam penyelesaian Skripsi ini tidak lepas dari beberapa pihak yang telah membantu dalam proses pembuatannya sehingga Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan dan Koordinator Skripsi Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Ibu Ir. Soesaptri Oediyani, M.E. selaku pembimbing I dan Bapak Dr. Iwan Setiawan, S.Si., M.Si. selaku pembimbing II.
3. Orang tua penulis yaitu Bapak Pesta Sinaga dan Ibu Dewi M D Siregar serta keluarga yang selalu memberikan doa dan dukungan kepada Penulis dalam penyusunan skripsi ini.
4. Staf Peneliti dan karyawan di Pusat Riset Metalurgi (PRM) BRIN Serpong yang telah banyak membantu Penulis selama penelitian.
5. Teman-teman Teknik Metalurgi, dan pihak lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kesalahan dan kekurangan dalam penyusunan skripsi ini, sehingga penulis mengharapkan kritik, saran, serta koreksi untuk perbaikan skripsi ini. Penulis berharap agar skripsi ini bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa maupun pihak-pihak lain yang memerlukannya sebagai bahan kajian maupun sumber referensi. Atas perhatiannya, Penulis ucapkan terima kasih.

Cilegon, 31 Oktober 2023

Angelique Gloria Rotua

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Sistematika Penulisan.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Nikel Saprolit	8
2.2 <i>Leaching</i> Bijih Nikel Saprolit	11
2.2.1 Reduksi.....	11
2.2.2 <i>Atmospheric Leaching</i> (AL).....	14

2.3 Termodinamika <i>Leaching</i> Bijih Nikel Saprolit.....	16
2.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi <i>Leaching</i> Nikel Saprolit.....	18
2.4.1 Pengaruh Konsentrasi H ₂ SO ₄	18
2.4.2 Pengaruh Temperatur <i>Leaching</i>	19
2.4.3 Pengaruh Persen S/L	20
2.5 Aspek Kinetika <i>Leaching</i> Bijih Nikel Saprolit	21
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian	25
3.2 Alat dan Bahan.....	26
3.2.1 Alat yang digunakan.....	26
3.2.2 Bahan yang digunakan	27
3.3 Prosedur Penelitian.....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Karakterisasi Nikel Saprolit dan Kalsin	31
4.2 Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat Terhadap Persen Ekstraksi Nikel	38
4.3 Pengaruh Temperatur Terhadap Persen Ekstraksi Nikel.....	40
4.4 Pengaruh Persen S/L Terhadap Persen Ekstraksi Nikel.....	41
4.5 Karakterisasi Residu Hasil dari Proses Pelindian	43
4.6 Kinetika Pelindian Kalsin Nikel Saprolit	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	54
5.2 Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA.....	55

LAMPIRAN

LAMPIRAN A. Contoh Perhitungan	59
LAMPIRAN B. Data Penelitian	65
LAMPIRAN C. Gambar Alat dan Bahan	71

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Hasil XRF Bijih Nikel Saprolit.....	9
Tabel 2.2 Konstanta Laju Semu dan Energi Aktivasi yang sesuai untuk <i>Shrinking Core</i> Model dengan reaksi kimia terkontrol	24
Tabel 4.1 Hasil Analisis Komposisi Kimia dengan metode AAS	34
Tabel 4.2 Hasil Analisis Komposisi Kimia dengan metode XRF.....	34
Tabel 4.3 Hasil Pengujian XRD.....	36
Tabel 4.4 Karakteristik batubara sub-bituminous dalam %berat (<i>as received</i>)	37
Tabel 4.5 Data Pengujian XRD Kalsin dan Residu	43
Tabel 4.6 Fraksi Mol Nikel yang Terekstrak	48
Tabel 4.7 Nilai Model Kinetika <i>Chemical Reaction Controlled</i> dan R^2	49
Tabel 4.8 Nilai Model Kinetika <i>Diffusion Reaction Controlled</i> dan R^2	49
Tabel 4.9 Nilai $\ln k$ terhadap Suhu pada Model Kinetika <i>Chemical Reaction Controlled</i>	50
Tabel 4.10 Nilai $\ln k$ terhadap Suhu pada Model Kinetika <i>Diffusion Reaction Controlled</i>	50
Tabel B.1 Hasil Analisis Komposisi Kimia dengan metode AAS.....	66
Tabel B.2 Hasil Analisis Komposisi Kimia dengan metode XRF.....	64
Tabel B.3 Pengaruh Konsentrasi H_2SO_4 terhadap Persen Ekstraksi Ni.....	67
Tabel B.4 Pengaruh Temperatur terhadap Persen Ekstraksi Ni.....	67
Tabel B.5 Pengaruh %S/L terhadap Persen Ekstraksi Ni.....	67
Tabel B.6 Fraksi Mol Nikel yang Terekstrak	68
Tabel B.7 Nilai Model Kinetika <i>Chemical Reaction Controlled</i> dan R^2	68
Tabel B.8 Nilai Model Kinetika <i>Diffusion Reaction Controlled</i> dan R^2	69

Tabel B.9 Nilai $\ln k$ terhadap Suhu pada Model Kinetika <i>Chemical Reaction</i> <i>Controlled</i>	69
Tabel B.10 Nilai $\ln k$ terhadap Suhu pada Model Kinetika <i>Diffusion</i> <i>Reaction Controlled</i>	69
Tabel B.11 Data Pengujian AAS Residu Variasi Konsentrasi.....	70
Tabel B.12 Data Pengujian AAS Residu Variasi Temperatur	70
Tabel B.13 Data Pengujian AAS Residu Variasi %S/L.....	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Profil Vertikal Nikel Laterit dan Lapisan Nikel Saprolit	10
Gambar 2.2 Diagram Baur-Glaessner pada total tekanan partial $P_{CO} + P_{CO_2} = 1$ atm	13
Gambar 2.3 <i>Atmospheric Leaching</i> skala Pabrik	10
Gambar 2.4 Diagram Pourbaix pada Suhu 25°C	14
Gambar 2.5 Pengaruh Konsentrasi H_2SO_4 terhadap %Ekstraksi	17
Gambar 2.6 Pengaruh Waktu & Suhu Reaksi terhadap Pelindian Nikel	18
Gambar 2.7 Pengaruh %S/L Reaksi terhadap %Ekstraksi	20
Gambar 2.8 Plot Kinetika dari Reaksi Kimia yang Dikendalikan	20
Gambar 2.9 Persen prediksi vs persen ekstraksi sebenarnya	22
Gambar 4.1 Hasil SEM pada Nikel Saprolit (perbesaran 1000x)	33
Gambar 4.2 Hasil SEM pada Kalsin Nikel Saprolit (perbesaran 1000x)	34
Gambar 4.3 Hasil XRD pada Bijih Nikel Saprolit dan Kalsin Nikel Saprolit	33
Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Konsentrasi terhadap Persen Ekstraksi Nikel	35
Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Temperatur terhadap Persen Ekstraksi Nikel	41
Gambar 4.6 Grafik Pengaruh %S/L terhadap Persen Ekstraksi Nikel	42
Gambar 4.7 Hasil XRD pada Residu Hasil Pelindian	43
Gambar 4.8 Hasil SEM pada Residu (perbesaran 1000x)	41
Gambar 4.9 Grafik Hubungan antara Nilai $\ln k$ dan $1/T$ pada Model Kinetika <i>Chemical Reaction Controlled</i>	51
Gambar 4.10 Grafik Hubungan antara Nilai $\ln k$ dan $1/T$ pada Model Kinetika <i>Diffusion Reaction Controlled</i>	52
Gambar C.1 <i>Aquades</i>	70

Gambar C.2 <i>Atmospheric leaching</i>	70
Gambar C.3 Batubara.....	70
Gambar C.4 <i>Bulb</i>	70
Gambar C.5 Corong	70
Gambar C.6 Filtrasi.....	70
Gambar C.7 Filtrat	70
Gambar C.8 <i>Furnace</i>	70
Gambar C.9 Gelas beker	71
Gambar C.10 Kertas saring.....	71
Gambar C.11 Labu ukur.....	71
Gambar C.12 Larutan H ₂ SO ₄	73
Gambar C.13 <i>Leaching Equipment</i>	71
Gambar C.14 Mesin Uji AAS	72
Gambar C.15 Mesin Uji SEM.....	72
Gambar C.16 Mesin Uji XRD.....	73
Gambar C.17 Mesin Uji XRF	73
Gambar C.18 <i>Neraca Digital</i>	72
Gambar C.19 Nikel saprolit	72
Gambar C.20 Oven.....	72
Gambar C.21 Residu	72
Gambar C.22 <i>Thermometer</i>	72

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan jumlah cadangan bijih nikel sangat besar dan memiliki cadangan bijih nikel nomor dua di dunia. Bijih nikel terdiri dari nikel sulfida dan nikel laterit. Di dunia 70% bijih nikel dikategorikan sebagai bijih nikel laterit. Lebih dari 60% pengolahan bijih nikel yang dilakukan saat ini menggunakan bijih nikel sulfida sebagai bahan baku. Dikarenakan semakin berkurangnya cadangan nikel sulfida, maka membuat industri di bidang metalurgi beralih untuk dapat mengolah bijih nikel laterit sebagai bahan baku (Tong *et al.*, 2013). Bijih nikel laterit memiliki kadar nikel yang rendah yaitu pada limonit memiliki kadar Ni sebesar 1,2-1,7% sedangkan saprolit memiliki kadar Ni sebesar 1,3-3% dan Fe pada limonit sebesar 45%, sedangkan saprolit sebesar 10-20%. Nikel laterit dibagi menjadi tiga lapisan, yaitu limonitik, saprolitik, dan garnieritik (Bahfie *et al.*, 2021).

Terdapat dua proses teknologi pada pengolahan bijih nikel saprolit, yaitu proses pirometalurgi dan hidrometalurgi. Salah satu proses hidrometalurgi adalah proses pelindian. Digunakan proses hidrometalurgi karena proses hidrometalurgi merupakan proses pengolahan mineral yang dilakukan pada temperatur yang relatif rendah dengan cara pelindian menggunakan *leaching agent* seperti asam, basa atau garam. Dibandingkan dengan proses pirometalurgi yang memiliki kelemahan yaitu menyebabkan permasalahan lingkungan, karena proses pirometalurgi

membutuhkan energi yang tinggi dan selama prosesnya menghasilkan gas beracun seperti fosforil fluorida (POF_3) dan Hidrogen Florida (HF) yang dilepaskan sehingga menjadi pencemaran lingkungan (Kyle, 2010). Proses pirometalurgi menghasilkan pencemaran udara contohnya pada pengolahan bijih galena dengan proses pirometalurgi pada tahap *roasting* dengan pemanasan sampai 1100°C terjadi desulfirisasi sehingga menimbulkan emisi gas SO_2 yang dapat menyebabkan gangguan pada pernapasan manusia (Ristiana, 2013).

Pada proses pelindian, *leaching agent* yang digunakan harus memenuhi beberapa kriteria, yaitu mampu mengekstraksi logam secara selektif serta dapat didaur ulang dan murah. Penggunaan asam sulfat dikarenakan memiliki konsentrasi asam (ion H^+) lebih tinggi dibandingkan dengan asam organik sehingga mampu menghasilkan persen *recovery* nikel yang lebih besar dibandingkan dengan asam organik. Pemilihan asam sulfat sebagai *leaching agent* dikarenakan asam sulfat (H_2SO_4) memiliki konsentrasi yang semakin pekat dibandingkan dengan HNO_3 dan HCl (Habashi, 1997). Asam sulfat juga memiliki titik didih yang lebih tinggi karena merupakan asam yang tidak mudah menguap. Titik didih asam sulfat sebesar 611°K . Sebagian besar senyawa organik larut dalam temperatur ini. Dalam industri kimia, asam sulfat digunakan sebagai bahan *intermediate* untuk menghasilkan bahan kimia yang lain, antara lain sebagai bahan baku pembuatan asam fosfat, aluminium sulfat, asam klorida, sebagai katalis yaitu zat yang mempercepat laju reaksi (Kirk & Othmer, 1967).

Temperatur pelindian sangat berpengaruh pada proses pelindian yang dikendalikan oleh reaksi kimia. Peningkatan temperatur dapat menyebabkan

peningkatan persentase ekstraksi nikel, hal tersebut disebabkan oleh semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi pergerakan spesi yang bereaksi di dalam larutan, sehingga menyebabkan frekuensi tumbukan antara spesies yang bereaksi akan semakin tinggi dapat menyebabkan tingginya produk reaksi yang terbentuk. Semakin meningkatnya temperatur pelindian maka laju pelindian nikel juga meningkat (Wahab *et al.*, 2021).

Konsentrasi *leaching agent* dapat berpengaruh pada perolehan persen ekstraksi nikel yang optimal. Pengaruh konsentrasi *leaching agent* pada proses pelindian adalah dengan konsentrasi *leaching agent* yang tinggi maka reaksi memiliki energi aktivasi yang tinggi sesuai dengan energi aktivasi yang diharapkan untuk proses yang dikendalikan oleh reaksi kimia. Selain itu, jumlah mineral yang terlarut akan semakin bertambah dengan meningkatnya konsentrasi *agent* yang digunakan (Nurfaidah *et al.*, 2020).

Pada penelitian yang dilakukan C.K. Thubakgale dilakukan variasi pengaruh persen S/L pada 10, 20, 35 dan 40% dengan temperatur 25 dan 90°C. Ukuran partikel dijaga tetap. Hasil menunjukkan bahwa ekstraksi nikel meningkat dengan meningkatnya persen S/L. Nilai ekstraksi nikel terbaik sebesar 63,79%, diperoleh pada %S/L 40% (Thubakgale, 2013).

Dalam penelitian ini, dilakukan pelindian nikel saprolit dengan asam sulfat menggunakan variasi konsentrasi H_2SO_4 0,1; 0,2; 0,5M, variasi temperatur 30; 50; 70°C, persen S/L 10%; 15%; 20%, dengan selang waktu pelindian 30; 45; 60; 90; 120 menit. Setelah dilakukan pelindian, maka difiltrasi untuk mendapatkan *Pregnant Leach Solution* (PLS/filtrat) dan residu. Kemudian *Pregnant Leach*

Solution dianalisis Ni dan Fe menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui laju kinetika reaksi pelindian dan untuk memperoleh persen ekstraksi nikel dengan metode *atmospheric leaching*, serta untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi H₂SO₄, temperatur pelindian, dan persen S/L pada proses pelindian nikel saprolit. Laju kinetika reaksi pelindian diketahui untuk mengidentifikasi langkah penentuan laju proses pelindian. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bijih nikel saprolit karena sebelumnya penelitian dengan menggunakan bijih nikel limonit telah dilakukan oleh Annisa Nabilah. Penelitian mengenai *atmospheric leaching* menggunakan nikel saprolit pernah dilakukan oleh Jennifer MacCarthy, Ataollah Nosrati, William Skinner, Jonas Addai-Mensah pada tahun 2015, namun penelitian tersebut memerlukan waktu yang lama dalam prosesnya yaitu 4 jam dan kecepatan agitasi sebesar 600-1000 rpm, sedangkan penelitian ini hanya membutuhkan waktu 2 jam dan kecepatan agitasi yang digunakan sebesar 200 rpm.

1.2 Identifikasi Masalah

Semakin menipisnya jumlah cadangan nikel sulfida menjadi permasalahan dunia, sehingga perlu dilakukan pemanfaatan nikel laterit sebagai sumber nikel. Pengolahan nikel laterit secara hidrometalurgi dapat dilakukan dengan pelindian menggunakan metode *atmospheric leaching* dan *leaching agent* berupa asam sulfat. Faktor yang mempengaruhi proses pelindian diantaranya yaitu pengaruh konsentrasi larutan asam sulfat, temperatur, dan %S/L. Maka perlu ditinjau konsentrasi asam sulfat, temperatur pelindian, dan %S/L yang digunakan untuk

mendapatkan nilai persen ekstraksi nikel yang diinginkan serta juga dapat untuk mengetahui laju kinetika reaksi pengendali pelindian. Studi kinetika pelindian bijih nikel saprolit menggunakan asam sulfat masih terbatas. Melalui studi kinetika pelindian dapat diketahui pengendali laju reaksi, parameter kinetika (konstanta laju reaksi atau koefisien difusi), energi aktivasi reaksi dan persamaan kinetiknya.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh persen ekstraksi nikel dengan kandungan lebih dari 90%
2. Menentukan konsentrasi H_2SO_4 , temperatur, dan persen *solid/liquid* terbaik serta pengaruhnya terhadap persen perolehan ekstraksi nikel pada proses pelindian.
3. Menentukan laju pengendali pelindian kalsin nikel saprolit dan energi aktivasi.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini meliputi:

1. Sampel yang digunakan adalah serbuk nikel saprolit yang berasal dari Pulau Gebe, Halmahera.
2. Bijih saprolit direduksi menggunakan *muffle furnace* dengan temperatur reduksi $800^{\circ}C$ selama 2 jam di Pusat Riset Metalurgi (PRM) BRIN Serpong.
3. Setelah bijih saprolit direduksi, dilakukan *atmospheric leaching*, dengan menggunakan asam sulfat dengan kondisi proses sebagai berikut:
 - a. Variasi konsentrasi H_2SO_4 adalah 0,1 M; 0,2 M; dan 0,5 M.

- b. Variasi temperatur adalah 30°C, 50°C, dan 70°C.
 - c. Variasi persen S/L adalah 10%, 15%, dan 20%.
 - d. Waktu pelindian asam (H₂SO₄) : 2 jam.
4. Hasil pelindian kemudian dilakukan filtrasi dan menghasilkan residu dan filtrat berupa PLS.
 5. Sampel kalsin nikel dikarakterisasi dengan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) dan *X-Ray Diffraction* (XRD). Sampel PLS (*Pregnant Leach Solution*) dikarakterisasi dengan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) berdasarkan standar ASTM D5863-00a(2016), sedangkan residunya dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) berdasarkan standar JCPDS-ICDD *card* 38-0715, dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) berdasarkan standar JSM-6510LV. Karakterisasi sampel dilakukan dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) untuk mengetahui kandungan unsur nikel dan besi dalam satuan ppm, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui senyawa yang terdapat pada sampel, dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui gambar mikro struktur dan komposisi unsur kimia pada sampel. Keseluruhan uji karakterisasi dilakukan di Pusat Riset Metalurgi (PRM) BRIN Serpong.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi terdiri atas lima bab. Bab I adalah Pendahuluan, yang menjelaskan tentang latar belakang studi kinetika *atmospheric leaching* nikel saprolit menggunakan larutan asam sulfat, identifikasi masalah, tujuan penelitian, Batasan masalah, dan sistematika penulisan. Bab II menjelaskan

tinjauan pustaka tentang saprolit dan *atmospheric leaching* secara umum, hidrometalurgi, pelindian asam, faktor yang mempengaruhi pelindian dan kinetika pelarutan saprolit. Bab III berisi metodologi penelitian yang menjelaskan diagram alir penelitian, alat, dan bahan yang digunakan saat penelitian, serta prosedur saat melakukan penelitian. Pada Bab IV disajikan hasil dan pembahasan yang kemudian dapat ditarik kesimpulan seperti pada bab V.

DAFTAR PUSTAKA

Bahfie, F. *et al.* (2021) 'Tinjauan teknologi proses ekstraksi bijih nikel laterit', *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 17(3), pp. 135–152. Available at: <https://doi.org/10.30556/jtmb.vol17.no3.2021.1156>.

Bangalino, M. (2009) 'Pengaruh Penambahan Reduktor Sub-Bituminous Dan Briket Kokas Kadar 10%, 13%, 15%, 20% Terhadap Produk Reaksi Karbotermik Bijih Nikel Saprolit'.

Basturkcu, H. *et al.* (2018) 'Mechanochemical pre-treatment of lateritic nickel ore with sulfur followed by atmospheric leaching', *Hydrometallurgy*, 181(May 2017), pp. 43–52. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2018.08.016>.

ESDM (2022) 'Neraca Sumber Daya dan Cadangan Mineral, Batubara, dan Panas Bumi Indonesia Tahun 2021', *Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral*, pp. 69–72.

Habashi F. (1997). "Handbook of extractive metallurgy". Vol 1-Wiley.

Hayes, P. (2011) 'Process Principles in Minerals and Materials Production'.

Hernandi, D., Rosana, M.F. and Haryanto, A.D. (2017) 'Domain Geologi Sebagai Dasar Pemodelan Estimasi Sumberdaya Nikel Laterit Perbukitan Zahwah, Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan', *Bulletin of Scientific Contribution*, 15(2), pp. 111–122.

Isjudarto, A. (2013) 'Pengaruh Morfologi Lokal Terhadap Pembentukan Nikel Laterit', *Jurnal Kurvatek*, 8, pp. 10–14.

Kyle, J.H. (2010) 'Nickel laterite processing technologies – where to next ? to next ? In : ALTA 2010 Nickel / Cobalt / Copper Conference , 24 - 27 May , Perth , Western Australia . Copyright © ALTA Metallurgical Services It is posted here for your personal use . No further', *ALTA 2010 Nickel/Cobalt/Copper Conference*, (May 2010), pp. 1–36.

Li, B. *et al.* (2018) 'Reduction of nickel and iron from low-grade nickel laterite ore via a solid-state deoxidization method using methane', *Materials Transactions*, 59(7), pp. 1180–1185. Available at: <https://doi.org/10.2320/matertrans.M2017351>.

Li, S. (1999) 'Study of nickeliferous laterite reduction', *McMaster University*, pp. 1–184.

Lintjewas, L., Setiawan, I. and Kausar, A. Al (2019) 'Profil Endapan Nikel Laterit di Daerah Palangga, Provinsi Sulawesi Tenggara', *RISET Geologi dan Pertambangan*, 29(1), p. 91. Available at: <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2019.v29.970>.

Liu, K. and Su, X. (2013) 'Atmospheric acid leaching of a ferruginous nickel laterite', *Advanced Materials Research*, 634–638(1), pp. 3196–3200. Available at: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.634-638.3196>.

Luo, W. *et al.* (2010) 'Kinetics of saprolitic laterite leaching by sulphuric acid at atmospheric pressure', *Minerals Engineering*, 23(6), pp. 458–462. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2009.10.006>.

MacCarthy, J. *et al.* (2016) 'Atmospheric acid leaching mechanisms and kinetics and rheological studies of a low grade saprolitic nickel laterite ore', *Hydrometallurgy*, 160, pp. 26–37. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2015.11.004>.

McDonald, R.G. and Whittington, B.I. (2008) 'Atmospheric acid leaching of nickel laterites review. Part I. Sulphuric acid technologies', *Hydrometallurgy*, 91(1–4), pp. 35–55. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2007.11.009>.

Mohammadreza, F., Mohammad, N. and Ziaeddin, S.S. (2014) 'Nickel extraction from low grade laterite by agitation leaching at atmospheric pressure', *International Journal of Mining Science and Technology*, 24(4), pp. 543–548. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2014.05.019>.

Muntaqin, A. *et al.* (2022) 'the Effect of Sulfuric Acid Concentration', *Jurnal Kimia Riset*, 7(1), pp. 20–27.

Nurfaidah, A.Y. *et al.* (2020) ‘Pengaruh Suhu dan Konsentrasi terhadap Proses Pemisahan Nikel dari Logam Pengotor Menggunakan Metode Leaching’, *Fluida*, 13(2), pp. 81–92. Available at: <https://doi.org/10.35313/fluida.v13i2.2388>.

Petrovski, A. *et al.* (2019) ‘Kinetic Models of Nickel Laterite Ore Leaching Process’, 490(11), pp. 487–490.

Ristiana, R. (2013) ‘Sistem Monitoring Gas SO₂ pada Proses Pengolahan Bijih Galena’, *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*, pp. 141–145.

Roine, A. (2011) ‘HSC Chemistry’. Outotech SN:71053 P2M LIPI.

Setiawan, I. *et al.* (2019) ‘Investigations on mineralogical characteristics of Indonesian nickel laterite ores during the roasting process’, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 541(1), p. 12038. Available at: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/541/1/012038>.

Steyl, J.D.T., Pelsler, M. and Smit, J.T. (2008) ‘Atmospheric leach process for nickel laterite ores’, *Hydrometallurgy 2008: Proceedings of the 6th International Symposium*, pp. 541–550.

Thubakgale, C.K., Mbaya, R.K.K. and Kabongo, K. (2013) ‘A study of atmospheric acid leaching of a south african nickel laterite’, *Minerals Engineering*, 54, pp. 79–81. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2013.04.006>.

Tong, L. *et al.* (2013) ‘Stirred milling kinetics of siliceous goethitic nickel laterite for selective comminution’, *Minerals Engineering*, 49, pp. 109–115. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2013.05.013>.

USGS (2023) *NICKEL. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries*. Available at: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023-nickel.pdf>.

Wahab, W. *et al.* (2021) ‘Pengaruh Variabel Pelindian Terhadap Ekstraksi Nikel Dalam Pelindian Bijih Nikel Laterit’, *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, 10(2), pp. 127–134. Available at: <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v10i2.33125>.

Xiao, W., Liu, X. and Zhao, Z. (2020) ‘Kinetics of nickel leaching from low-nickel

matte in sulfuric acid solution under atmospheric pressure', *Hydrometallurgy*, 194(May), p. 105353. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2020.105353>.

Zevgolis, E., Zografidis, C. and Halikia, I. (2010) 'The reducibility of the Greek nickeliferous laterites: a review', *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 119(1), pp. 9–17. Available at: <https://doi.org/10.1179/174328509X431472>.

Kirk-Othmer. 1967. "Encyclopedia of Chemical Technology". Edisi2.International Science. Dursion of John Wiley and Sons. NewYork.