

# Skripsi Angelique Gloria Rotua 3334190057 *by Turnitin Indonesia*

---

**Submission date:** 11-Dec-2023 06:26AM (UTC-0600)

**Submission ID:** 2255481243

**File name:** Skripsi\_Angelique\_Gloria\_Rotua\_3334190057.docx (3.63M)

**Word count:** 11588

**Character count:** 71000

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

**1**  
**SKRIPSI**

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



Oleh:

Angelique Gloria Rotua  
3334190057

**1**  
**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
CILEGON-BANTEN**

**2023**

LEMBAR PENGESAHAN

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

**1**  
**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

Pembimbing II

**Ir. Soesaptri Oediyani, M.E.**

NIP. 196006232003122001



**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

|             | <sup>1</sup><br>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.   | _____        |

<sup>1</sup>  
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  
Saproлит 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

17

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 persamaan *chemical reaction controlled* sebesar 8,77 kJ/mol, sedangkan energi aktivasi yang diperoleh pada persamaan *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, %S/L 20% 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

# 1 DAFTAR ISI

|  | <b>Halaman</b> |
|--|----------------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....                     | i              |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....                 | ii             |
| <b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....                | iii            |
| <b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....                 | iv             |
| <b>ABSTRAK</b> .....                           | v              |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                    | vi             |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                        | vii            |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                      | ix             |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                     | x              |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b>                       |                |
| 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              |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>                 |                |
| 2.1 Nikel Saprofit .....                       | 8              |
| 2.2 <i>Leaching</i> Bijih Nikel Saprofit ..... | 11             |
| 2.2.1 Reduksi .....                            | 11             |
| 2.2.2 <i>Atmospheric Leaching (AL)</i> .....   | 14             |



|     |   |    |
|-----|---|----|
| 2.3 | Termodinamika <i>Leaching</i> Bijih Nikel Saprolit.....             | 16 |
| 2.4 | Faktor-faktor yang Mempengaruhi <i>Leaching</i> Nikel Saprolit..... | 18 |
| 56  | 2.4.1 Pengaruh Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....     | 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 |
| 4   | <b>BAB III METODE PENELITIAN</b>                                    |    |
|     | 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 |
|     | <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>                                  |    |
|     | 4.1 Karakterisasi Nikel Saprolit dan Kalsin.....                    | 31 |
| 2   | 4.2 Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat Terhadap Persen                |    |
|     | Ekstraksi Nikel .....   | 38 |
| 4   | 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 |
| 1   | <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>                                   |    |
|     | 5.1 Kesimpulan .....  | 54 |
|     | 5.2 Saran.....  | 54 |
|     | <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....   | 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<br><i>Shrinking Core</i> Model dengan reaksi kimia terkontrol ..... | 24                                  |
| Tabel 4.1 Hasil Analisis Komposisi Kimia dengan metode AAS .....  | <b>Error!</b>                       |
| <b>Bookmark not defined.</b>  |                                     |
| Tabel 4.2 Hasil Analisis Komposisi Kimia dengan metode XRF.....   | <b>Error!</b>                       |
| <b>Bookmark not defined.</b>  |                                     |
| Tabel 4.3 Hasil Pengujian XRD .....   | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Tabel 4.4 Karakteristik batubara sub-bituminous dalam %berat ( <i>as received</i> ) ....  | 37                                  |
| Tabel 4.5 Data Pengujian XRD Kalsin dan Residu .....  | 44                                  |
| Tabel 4.6 Fraksi Mol Nikel yang Terekstrak .....  | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Tabel 4.7 Nilai Model Kinetika <i>Chemical Reaction Controlled</i> dan $R^2$ .....  | 50                                  |
| <b>No table of figures entries found.</b>   |                                     |

## 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 ...                                       | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Gambar 2.4 Diagram Pourbaix pada Suhu 25°C...   | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Gambar 2.5 Pengaruh Konsentrasi $H_2SO_4$ terhadap %Ekstraksi                                 | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Gambar 2.6 Pengaruh Waktu & Suhu Reaksi terhadap Pelindian Nikel .....                        | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Gambar 2.7 Pengaruh %S/L Reaksi terhadap %Ekstraksi.....                                      | 20                                  |
| Gambar 2.8 Plot Kinetika dari Reaksi Kimia yang Dikendalikan .....                            | <b>Error!</b>                       |
| Gambar 2.9 Persen prediksi vs persen ekstraksi sebenarnya                                     | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Gambar 4.1 Hasil SEM pada Nikel Saprolit (perbesaran 1000x) .....                             | 33                                  |
| <b>No table of figures entries found.</b>   |                                     |
| Gambar 4.3 Hasil XRD pada Biji Nikel Saprolit dan Kalsin Nikel Saprolit                       | <b>Error!</b>                       |
| Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Konsentrasi terhadap Persen Ekstraksi Nikel                        | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| 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).....   | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Gambar 4.9 Grafik Hubungan antara Nilai $\ln k$ dan $1/T$ pada Model Kinetika<br><i>Chemical Reaction Controlled</i> .....   | 52                                  |
| Gambar 4.10 Grafik Hubungan antara Nilai $\ln k$ dan $1/T$ pada Model<br>Kinetika <i>Diffusion Reaction Controlled</i> ..... | 52                                  |
| Gambar C.1 <i>Aquades</i> .....  | 72                                  |
| Gambar C.2 <i>Atmospheric leaching</i> .....   | 72                                  |
| Gambar C.3 Batubara.....   | 72                                  |
| Gambar C.4 <i>Bulb</i> .....   | 72                                  |
| Gambar C.5 Corong .....  | 72                                  |
| Gambar C.6 Filtrasi.....   | 72                                  |
| Gambar C.7 Filtrat .....   | 73                                  |
| Gambar C.8 <i>Furnace</i> .....  | 73                                  |
| Gambar C.9 Gelas beker .....   | 73                                  |
| Gambar C.10 Kertas saring .....  | 73                                  |
| Gambar C.11 Labu ukur.....   | 73                                  |
| Gambar C.12 Larutan $H_2SO_4$ .....  | 73                                  |
| Gambar C.13 <i>Leaching Equipment</i> .....  | 73                                  |
| Gambar C.14 Mesin Uji AAS .....  | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Gambar C.15 Mesin Uji SEM .....  | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Gambar C.16 Mesin Uji XRD.....   | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Gambar C.17 Mesin Uji XRF .....  | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Gambar C.18 <i>Neraca Digital</i> .....  | 74                                  |

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| Gambar C.19 Nikel saprolit .....     | 74 |
| Gambar C.20 Oven .....               | 74 |
| Gambar C.21 Residu .....             | 74 |
| Gambar C.22 <i>Thermometer</i> ..... | 74 |

# 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 ( $\text{POF}_3$ ) 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  $1100^\circ\text{C}$  terjadi desulfirisasi sehingga menimbulkan emisi gas  $\text{SO}_2$  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  $\text{H}^+$ ) 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 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) memiliki konsentrasi yang semakin pekat dibandingkan dengan  $\text{HNO}_3$  dan  $\text{HCl}$  (Habashi, 1997). Asam sulfat juga memiliki titik didih yang lebih tinggi karena merupakan asam yang tidak mudah menguap. Titik didih asam sulfat sebesar  $611^\circ\text{K}$ . 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<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 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  $H_2SO_4$ , 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<sup>23</sup> 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 (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) : 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.

## 2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Nikel Saprolit

Endapan nikel laterit di Indonesia tersebar di beberapa wilayah timur, antara lain pulau Sulawesi, Maluku Utara, dan Papua (Isjudarto, 2013). Nikel saprolit yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Pulau Gebe, Halmahera. Berdasarkan data Kementerian Energi Sumber Daya Mineral (ESDM), sumber daya nikel saprolit mencapai 3,93 miliar ton (ESDM, 2022). Dari data yang dikutip dalam laporan Badan Survei Geologi Amerika Serikat, Indonesia diperkirakan memiliki cadangan nikel sebanyak 21 juta metrik ton pada tahun 2022 (USGS, 2023). Jumlah ini setara dengan Australia pada periode tersebut. Indonesia dan Australia masing-masing menyumbang 21% dari total cadangan nikel global sepanjang tahun lalu. Tidak hanya memiliki cadangan terbesar, Indonesia juga unggul sebagai produsen nikel terbesar di dunia pada tahun 2022, yakni mencapai 1,6 juta ton, diikuti oleh Filipina dan Rusia masing-masing 330 ribu dan 220 ribu metrik ton.

Bijih nikel saprolit merupakan salah satu tipe nikel laterit yang terletak pada lapisan yang lebih dalam. Zona saprolit terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Zona saprolit merupakan zona yang kaya akan nikel yang memiliki komposisi mineral penyusun berupa kuarsa, garnierit, antigorit, enstatit, dan lisardit. Kedalaman zona saprolit sekitar 3 – 9 meter dengan kandungan Ni sekitar 1,79 – 2,98%, Fe sekitar 10,27 – 34,52%, SiO<sub>2</sub> sekitar 22,0 – 49,63% (Lintjewas, 2019).

Zona saprolitik yang terletak di dasar endapan sebagian besar terdiri dari

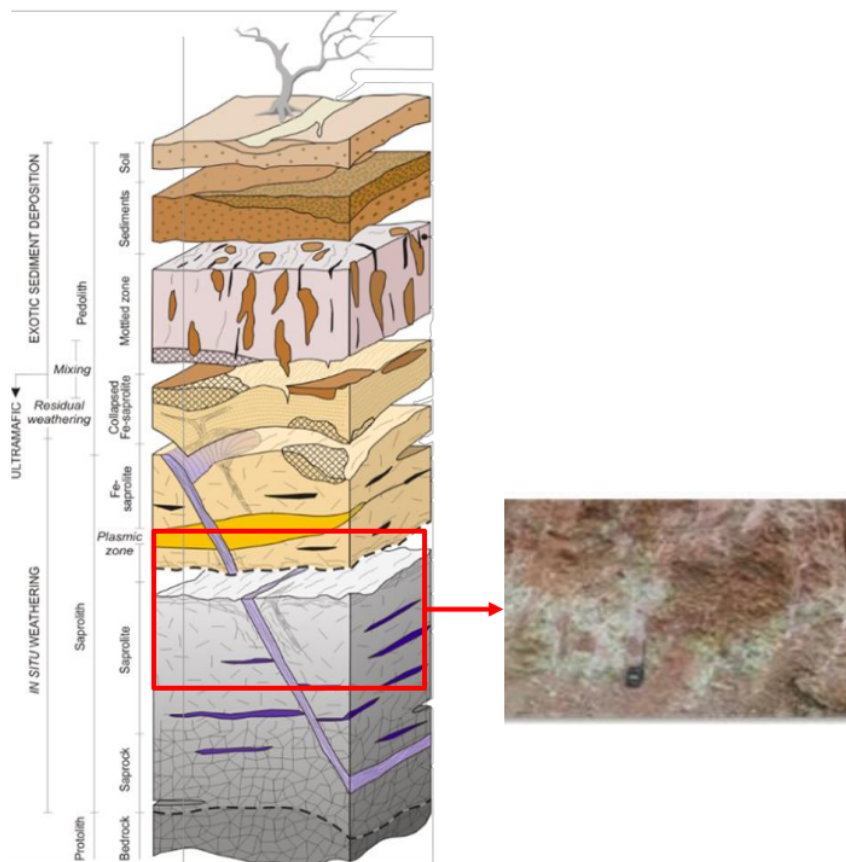
serpentin tersubstitusi Ni atau magnesium silikat hidroksida (Kyle, 2010). Antara batuan dasar (atau lapisan garnierit) dan limonit (atau lapisan tanah liat), adalah zona transisi yang terdiri dari bahan magnesium silikat yang sangat bervariasi, inilah yang disebut zona saprolit (Steyl, 2008). Tabel 2.1 menunjukkan hasil XRF komposisi kimia bijih nikel.

**Tabel 2.1** Hasil XRF Bijih Nikel Saprolit

| <i>Element</i>                 | <i>Certified value</i> | <i>Average of 20 measurements</i> | <i>Std. dev.</i> | <i>RSD%</i> |
|--------------------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------|-------------|
| NiO                            | 2,67                   | 2,69                              | 0,002            | 0,085       |
| Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,0597                 | 0,0588                            | 0,001            | 1,7         |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16,42                  | 16,42                             | 0,01             | 0,063       |
| MgO                            | 22,77                  | 22,62                             | 0,04             | 0,18        |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,027                  | 0,041                             | 0,006            | 14          |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2,73                   | 2,71                              | 0,008            | 0,30        |
| SiO <sub>2</sub>               | 42,90                  | 42,48                             | 0,03             | 0,061       |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | -                      | 0,0043                            | 0,0004           | 8,9         |
| SO <sub>3</sub>                | -                      | 0,0054                            | 0,0008           | 14          |
| K <sub>2</sub> O               | -                      | 0,011                             | 0,0003           | 2,9         |
| CaO                            | 0,32                   | 0,31                              | 0,0009           | 0,28        |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,033                  | 0,036                             | 0,002            | 6,1         |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | -                      | 0,0099                            | 0,0007           | 7,2         |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,814                  | 0,813                             | 0,003            | 0,34        |
| MnO                            | 0,262                  | 0,265                             | 0,001            | 0,40        |
| CuO                            | 0,0051                 | 0,0026                            | 0,0001           | 4,1         |
| ZnO                            | 0,0229                 | 0,0212                            | 0,0003           | 1,4         |

Profil vertikal nikel laterit dan lapisan nikel saprolit dapat dilihat pada Gambar 2.1. Pada zona saprolit Ni merupakan produk residual, namun umumnya merupakan hasil proses pengayaan sekunder atau pengayaan yang kedua. Pada zona saprolit, nikel tersisa sebagian tapi kebanyakan dari pengayaan sekunder. Hal ini disebabkan ketika alkanitas muka air tanah yang bersifat asam pada bagian atas tiba-tiba meningkat menyebabkan terpisahnya olivin dan terlepasnya magnesia, sehingga Ni pada bagian atas terlarutkan dan diendapkan pada zona saprolit.

Keterdapatn mineral garnierit umumnya pada zona saprolit, merupakan zona silika sebagai tempat terdapatnya *vein*. Bijih nikel umumnya terdapat pada zona saprolit dan tidak semua lapisan memiliki kadar Ni yang relatif merata (Hernandi *et al.*, 2017). Saprolit adalah bijih laterit yang paling reaktif dengan variasi mineral pembentuk yang menyebabkan proses pelindiannya berbeda dengan nikel limonit (Kyle, 2010).



38 **Gambar 2.1** Profil Vertikal Nikel Laterit dan Lapisan Nikel Saprolit

(Brand, 1997 dan Lintjewas *et al.*, 2019)

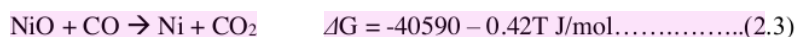
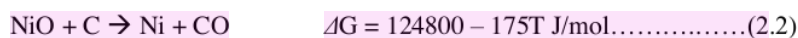
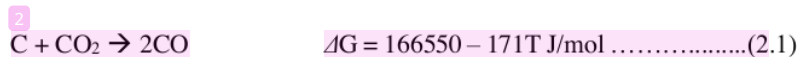


## 2.2 Leaching Bijih Nikel Saprolit

*Leaching* atau pelindian adalah pelarutan bijih secara selektif sehingga mineral berharga akan larut, sedangkan mineral pengotor tidak larut. Untuk melakukan pelindian, diperlukan pelarut yang berupa larutan air misalnya asam, basa, atau garam. Sebelum pelindian dilakukan, biasanya bijih dikenakan proses *pretreatment* seperti reduksi yang bertujuan agar proses pelindian dapat berlangsung lebih efisien dan efektif.

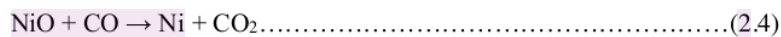
### 2.2.1 Reduksi

Proses reduksi bijih biasanya menggunakan media gas berbasis karbon yang sumber gasnya bisa berasal dari batu bara, grafit, serbuk arang, maupun kokas. Dalam proses reduksi nikel dari bijih laterit, reaksi utama reduksi nikel oksida menjadi nikel logam dapat dilihat pada persamaan (2.1), persamaan (2.2), dan persamaan (2.3). Reaksi yang terjadi pada saat reduksi bijih nikel adalah sebagai berikut (Li *et al.*, 2018):

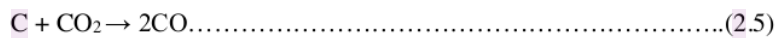


Kualitas karbon sangat berpengaruh terhadap jalannya proses reduksi bijih nikel. Karbon yang memiliki kadar karbon yang rendah urutan reaksi reduksinya yaitu  $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO \rightarrow Fe$ , sedangkan pada karbon yang tinggi urutan reaksinya adalah  $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow Fe$ . Hal ini dapat terjadi suatu kesetimbangan reaksi FeO yang terbentuk langsung direduksi menjadi Fe (Bangalino, 2009).

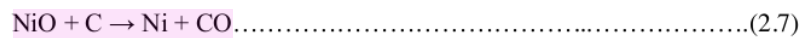
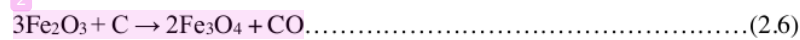
Mekanisme reduksi bijih laterit dengan penambahan karbon padat telah diteliti oleh beberapa peneliti. Proses reduksi nikel laterit menggunakan reduktor batubara dibagi menjadi reduksi besi oksida, reduksi nikel oksida, dan gasifikasi karbon (Zevgolis, Zografidis and Halikia, 2010). Reduksi nikel oksida terjadi melalui reaksi:



*Carbon gasification* berlangsung melalui reaksi Boudouard:

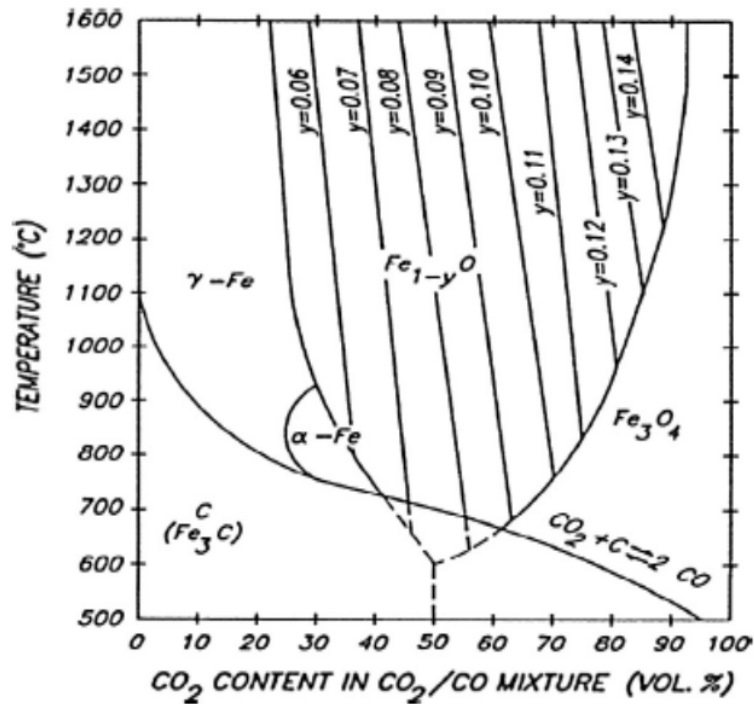


Mekanisme reduksi padat berlangsung karena adanya gas antara yang terbentuk melalui reaksi Boudouard yang menjaga atmosfer dalam keadaan reduktif. CO initial terbentuk pada tahap-tahap awal melalui kontak langsung antara partikel karbon dan bijih dengan reaksi berikut:



Meskipun terdapat banyak pilihan reduktor, campuran antara karbon monoksida dan karbon dioksida lebih umum digunakan dalam studi skala kecil karena faktor biaya dan keamanannya yang lebih baik. Proses pemanasan reaktan dibutuhkan hingga temperatur karbon monoksida lebih stabil dibandingkan oksida logam. Berdasarkan prinsip ini, ketika campuran CO/CO<sub>2</sub> digunakan untuk mereduksi oksida besi, maka dibutuhkan sejumlah panas untuk meningkatkan temperatur hingga titik CO<sub>2</sub> lebih stabil daripada oksida besi. Selain itu, kandungan CO dalam campuran gas CO<sub>2</sub>/CO menjadi parameter yang cukup signifikan saat mengontrol

transformasi fasa yang tepat dari oksida besi, sehingga transformasi oksida besi yang tidak diinginkan dapat dicegah. Rasio gas tersebut dapat ditentukan berdasarkan prinsip-prinsip termodinamika dan diagram Baur-Glaessner seperti pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Diagram Baur-Glaessner pada total tekanan partial

$$P_{CO} + P_{CO_2} = 1 \text{ atm (Hayes, 2011)}$$

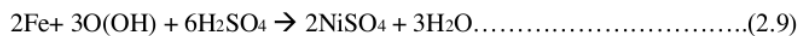
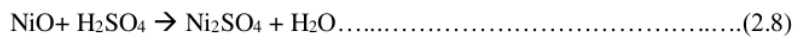
Berdasarkan perhitungan termodinamika dapat diperkirakan reaksi-reaksi yang mungkin terjadi dalam suatu lingkungan reduksi menggunakan karbon sebagai reduktor dengan keberadaan oksida-oksida nikel dan besi (Roine, 2011).

### 2.2.2 Atmospheric Leaching (AL)

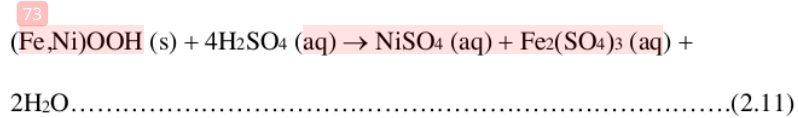
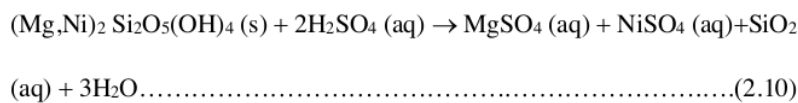
Di antara semua metode *leaching*, *atmospheric leaching* (pelindian atmosfer) bijih laterit baru-baru ini banyak menarik perhatian karena biaya operasinya yang rendah. Beberapa peneliti telah melaporkan penerapan pelindian atmosfer untuk bijih laterit (Liu, 2013). *Atmospheric leaching* (AL) dalam bejana yang diaduk adalah metode pemrosesan yang dipilih untuk nikel laterit kadar rendah. Kondisi *atmospheric leaching* yang khas (misalnya, waktu tetap selama 1-6 jam dan temperatur sebesar 70-95°C) akan menghasilkan ekstraksi Ni lebih besar dari 90% dan nilai konsumsi asam yang tinggi (>500 kg/t bijih kering) (McDonald *et al.*, 2008). Proses *atmospheric leaching* (AL) melibatkan pelindian langsung bijih nikel laterit dengan asam anorganik dan/atau organik baik dengan agitasi atau *heap leaching*. Dalam proses ini logam dalam bijih diliberasi dalam lingkungan asam, kemudian larutan pelindian yang kaya akan logam diendapkan secara selektif untuk *recovery* logam dengan berbagai metode termasuk pengendapan hidroksida, pengendapan sulfida atau metode hibrida. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa ekstraksi nikel laterit sangat tergantung pada jenis mineral nikel, temperatur pelindian dan konsentrasi asam sulfat. Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Wei Luo pada tahun 2010 mengenai *atmospheric leaching*, menunjukkan sebanyak 84,8% nikel didapat dari hasil pelindian pada temperatur 90°C, dalam waktu 5 menit, dengan ukuran partikel  $d_{50} = 25 \mu\text{m}$ , kecepatan pengadukan sebesar 500 rpm dan perbandingan cair dan padat 3:1. Energi aktivasi ditentukan sebesar

88  
 53,9 kJ mol<sup>-1</sup> untuk nikel (Luo *et al.*, 2010). Berdasarkan studi yang telah dilakukan oleh C. K. Thubakgale, R. K.K. Mbaya, dan K. Kabongo, menunjukkan bahwa bijih nikel dan kobalt dapat berhasil melalui proses pelindian menggunakan *atmospheric leaching*. Nikel ditemukan lebih mudah larut dari fraksi -106 + 75 μm yang lebih kasar, pada temperatur 90°C setelah 480 menit didapatkan persen ekstraksi Ni sebesar 98% (Thubakgale, 2013).

Sebelumnya sudah ada peneliti menyelidiki pelindian laterit saprolitik menggunakan asam sulfat pada tekanan atmosfer untuk menentukan kinetika proses (Mohammadreza *et al.*, 2014). Reaksi utama nikel dengan asam sulfat dapat dilihat pada reaksi 2.8 dan 2.9 (Mohammadreza *et al.*, 2014):

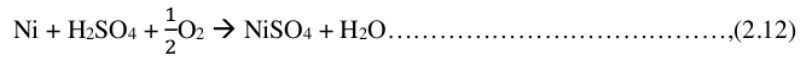


Reaksi kimia penting yang terjadi selama pelindian berbasis H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dari partikel serpentinisasi dan goetit tersubstitusi-Ni pada bijih laterit dirangkum dalam persamaan 2.10 dan 2.11 masing-masing (MacCarthy *et al.*, 2016):

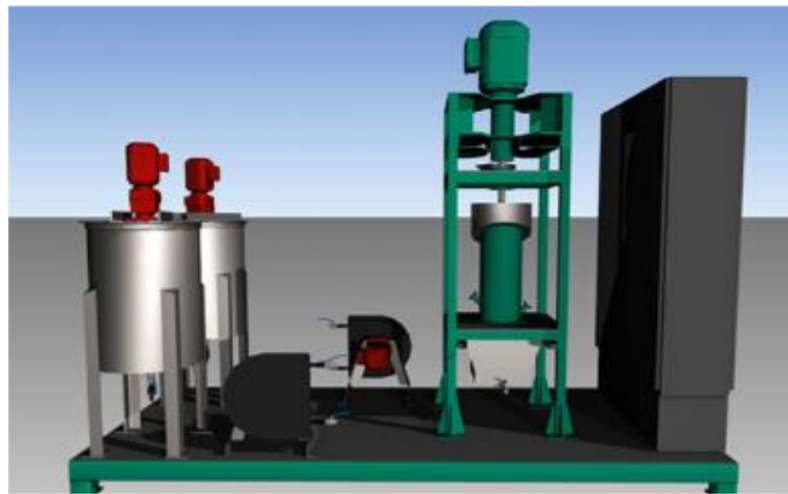


5  
 Proses pelindian dilakukan dengan menggunakan larutan asam sulfat, reaksi

yang terjadi ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut (Habashi, 1997):



Gambar 2.3 merupakan contoh proses *Atmospheric Leaching* dalam skala pabrik.

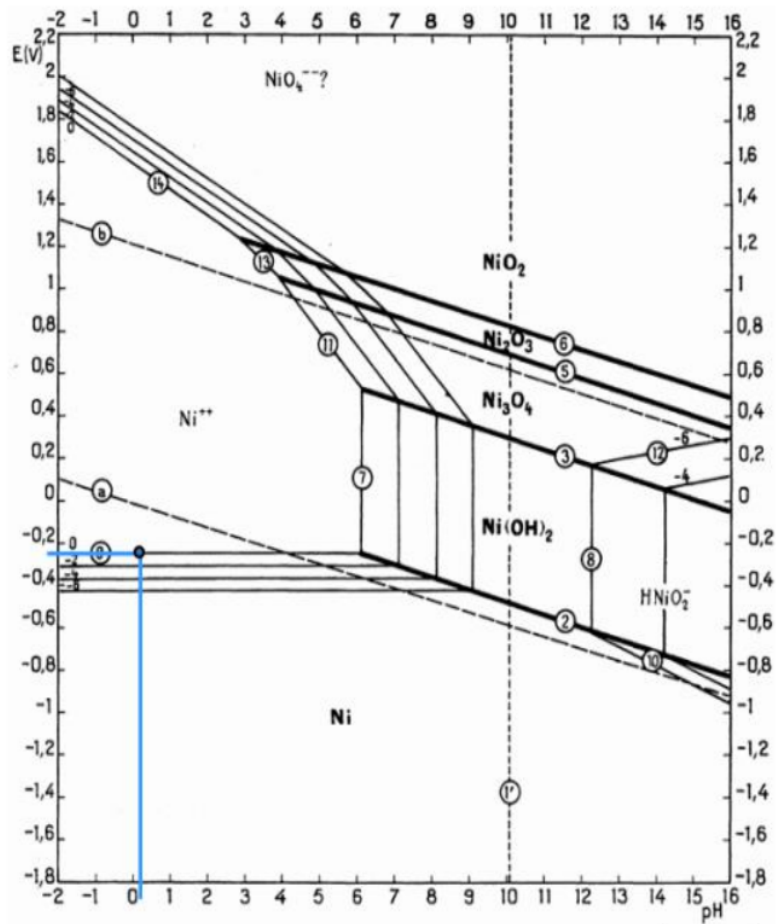


**Gambar 2.3** *Atmospheric Leaching* skala Pabrik

### 2.3 Termodinamika *Leaching* Bijih Nikel Saprolit

Termodinamika menjelaskan apakah suatu reaksi dapat terjadi atau tidak.

Gambar 2.4 merupakan diagram Pourbaix untuk nikel pada sistem Nikel-H<sub>2</sub>O temperatur 25°C. Berdasarkan diagram ini, terlihat bahwa perubahan Ni menjadi Ni<sup>2+</sup> terjadi pada garis yang dipengaruhi oleh nilai potensial. Nilai potensial  $E_{\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}}$  adalah -0,27 V dan proses *Atmospheric Acid Leaching* berlangsung pada pH 0,2. Pada diagram Pourbaix, titik ini berada pada zona korosi yang membuat Ni bereaksi dengan asam (Muntaqin *et al.*, 2022).



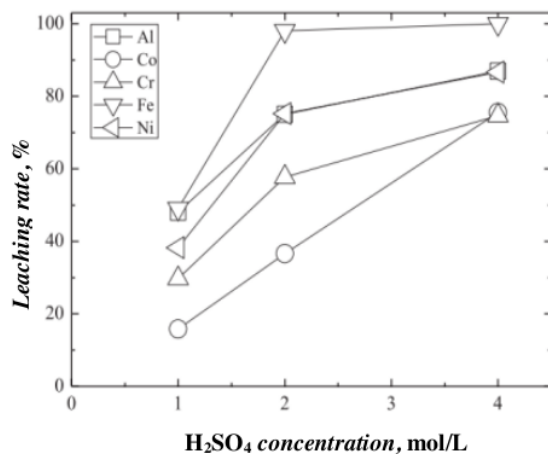
Gambar 2.4 Diagram Pourbaix pada Suhu 25°C (Muntaqin *et al.*, 2022)

## 2.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi *Leaching* Bijih Nikel Saprolit

### 2.4.1 Pengaruh Konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Ade Yanti Nurfaidah tahun 2020 mengenai <sup>6</sup> Kajian Pustaka Pengaruh Suhu dan Konsentrasi terhadap Proses Pemisahan Nikel dari Logam Pengotor

Menggunakan Metode *Leaching*, dapat diketahui pengaruh variasi konsentrasi asam sulfat terhadap persen ekstraksi nikel (Nurfaidah *et al.*, 2020). Gambar 2.5 menunjukkan variasi konsentrasi yaitu (1 M, 2 M, dan 4 M) dengan kondisi temperatur pelindian 80°C, waktu 120 menit dan kecepatan pengadukan 500 rpm.



**Gambar 2.5** Pengaruh Konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> terhadap %Ekstraksi

(Nurfaidah *et al.*, 2020)

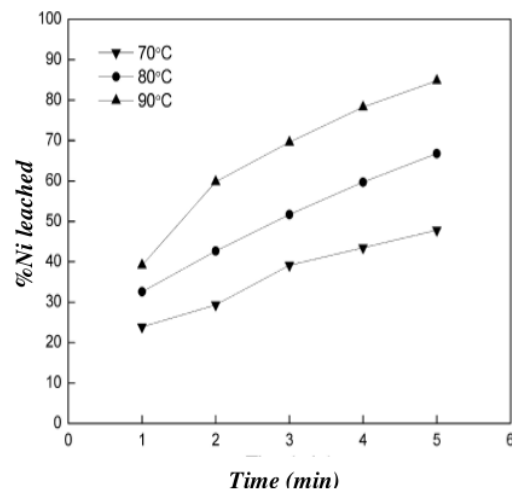
Ekstraksi nikel yang dihasilkan meningkat seiring kenaikan konsentrasi asam sulfat yang awalnya 38% menjadi 75% dan pada saat 4 M menjadi 85%. Pernyataan tersebut didukung oleh hasil penelitian yang menyebutkan bahwa pada temperatur 95°C dengan variasi konsentrasi pelarut 3, 4, dan 5 M ekstraksi nikel tertinggi diperoleh pada konsentrasi asam sulfat 5 M sebesar 93,88%. Pengaruh konsentrasi asam sulfat terhadap persentase ekstraksi nikel berkaitan dengan banyaknya ion H<sup>+</sup> di dalam larutan yang



bereaksi dengan bijih nikel (Nurfaidah *et al.*, 2020).

#### 2.4.2 Pengaruh Temperatur *Leaching*

Pengaruh temperatur pada ekstraksi dari bijih saprolit dapat dilihat berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Luo tahun 2010. Serangkaian percobaan pelindian dilakukan di bawah kondisi percobaan ukuran partikel  $d_{50} = 550$  mesh ( $25\mu\text{m}$ ), pengadukan pada 500 rpm dan cair menjadi padat  $3 \text{ mL g}^{-1}$  (Luo *et al.*, 2010).



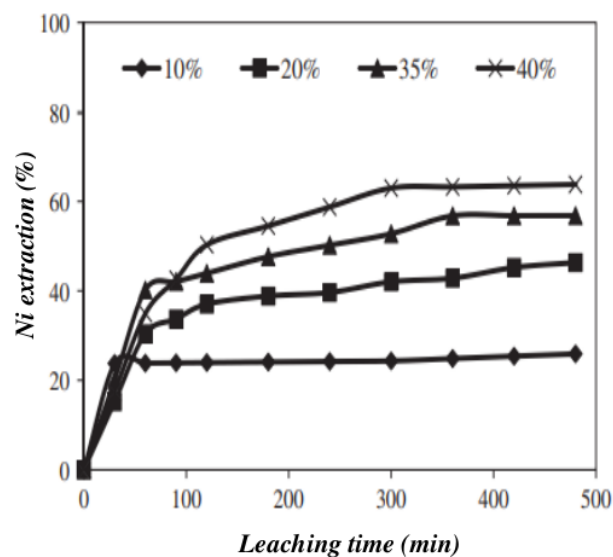
**Gambar 2.6** Pengaruh Waktu & Suhu Reaksi terhadap Pelindian Nikel (Luo, 2010)

Gambar 2.6 menunjukkan pengaruh temperatur pada ekstraksi nikel dari bijih nikel saprolit dilakukan pada variasi 70, 80 dan 90°C. Hasilnya menunjukkan bahwa temperatur reaksi memiliki efek nyata pada ekstraksi nikel. Kenaikan temperatur memiliki pengaruh yang baik untuk Ni, terlihat dari kenaikan persen pelindiannya yang berbanding lurus dengan kenaikan

temperatur. Laju pelindian nikel meningkat dengan meningkatnya temperatur reaksi pada waktu reaksi yang sama dan persen ekstraksi Ni tertinggi dicapai pada temperatur 90°C (Luo *et al.*, 2010).

### 2.4.3 Pengaruh Persen S/L

Pada penelitian yang dilakukan C.K. Thubakgale dilakukan variasi pengaruh persen S/L pada 10, 20, 35 dan 40% pada temperatur 25°C.



**Gambar 2.7** Pengaruh %S/L Reaksi terhadap %Ekstraksi

Ukuran partikel dijaga konstan pada 45  $\mu\text{m}$ . Gambar 2.7 menunjukkan hasil ekstraksi nikel meningkat dengan meningkatnya persen S/L. Nilai ekstraksi nikel terbaik, 63,79%, diperoleh pada padatan 40%. Ketika temperatur pelindian dinaikkan menjadi 90°C, ekstraksi nikel pada padatan 40% menurun menjadi 26,25%, karena silika koloid menciptakan lapisan difusi pada permukaan partikel (Thubakgale, 2013).

## 2.5 Aspek Kinetika Pelindian Bijih Nikel Saprolit

Untuk menemukan model yang tepat pada pelindian sampel Ni laterit, ekstraksi Ni dipasangkan ke *Shrinking core model*. *Shrinking core model* umumnya disarankan untuk nikel laterit. Partikel padat melindungi bagian besar ukurannya karena inti partikel yang tidak bereaksi menyusut secara bertahap seiring dengan berlangsungnya pelindian yang menghasilkan pembentukan lapisan berpori peripheral (Basturkcu *et al.*, 2018).

Pada proses pelindian sangat penting untuk menetapkan pengukuran kuantitatif kinetika dan mekanisme pelindian untuk memiliki kontrol yang lebih baik pada proses *leaching*. Hal ini dicapai dengan menentukan langkah pengendalian laju pelindian dari reaksi pelindian menggunakan persamaan *Shrinking core model* (MacCarthy *et al.*, 2016).

$$x = kt \dots \dots \dots (2.12)$$

$$1 - 3(1 - x)^{2/3} + 2(1 - x) = kt \dots \dots \dots (2.13)$$

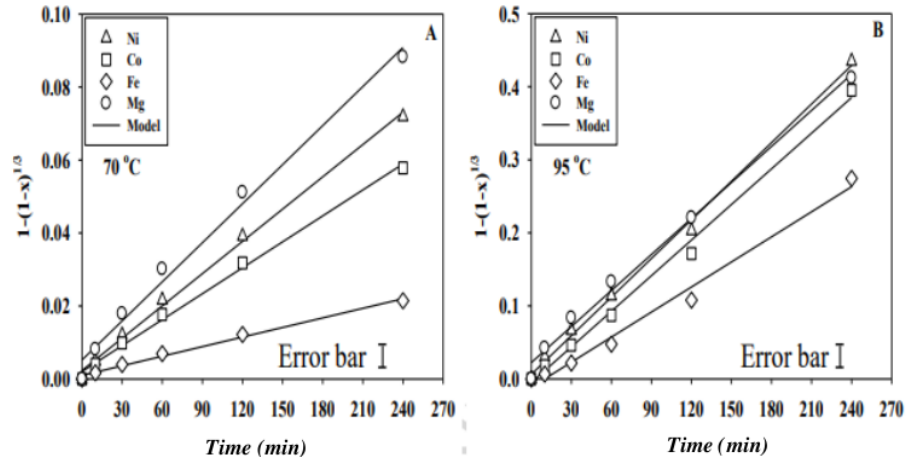
$$1 - (1 - x)^{1/3} = kt \dots \dots \dots (2.14)$$

Dengan  $\bar{x}$  adalah fraksi yang bereaksi,  $k$  adalah konstanta laju reaksi dan  $t$  adalah waktu pelindian. Persamaan 2.11 mengasumsikan bahwa pelindian dikendalikan oleh difusi lapisan berpori dan persamaan 2.12 mengasumsikan langkah pengendalian adalah reaksi kimia pada permukaan inti yang tidak bereaksi. Berdasarkan konstanta laju, energi aktivasi ( $E_a$ ) untuk reaksi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan Arrhenius (Basturkcu *et al.*, 2018):

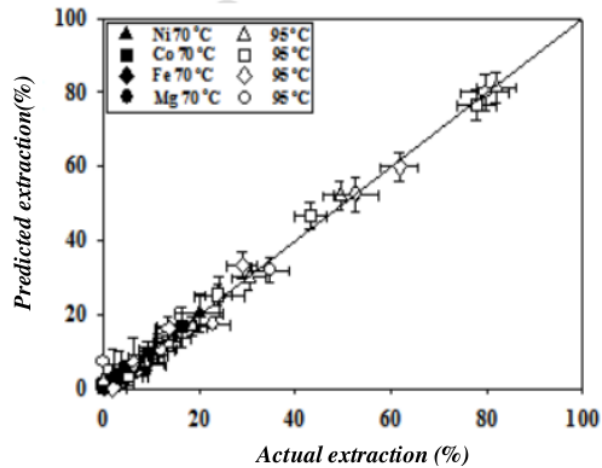
$$k = k_0 e^{-E_a/RT} \dots \dots \dots (2.15)$$

$E_a$  (kJ mol<sup>-1</sup>) adalah energi aktivasi,  $R$  (8,314 J K<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup>) adalah konstanta gas

ideal,  $k_0$  ( $\text{min}^{-1}$ ) adalah faktor pra-eksponensial dan  $T$  (K) adalah temperatur (Petrovski *et al.*, 2019).



**Gambar 2.8** Plot Kinetika yang Dikendalikan Reaksi Kimia



**Gambar 2.9** Percent predicted vs. Actual extractions

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Apostolidis dan Distin tahun 1978, untuk menentukan mekanisme yang paling memungkinkan pada pelindian

bijih saprolit, data pelindian yang diperoleh disesuaikan dengan model *Shrinking Core* (SC) (Persamaan 2.10-2.12) dan hasilnya diringkas dalam Gambar 2.8 dan 2.9 dan Tabel 2.2. Dengan menyesuaikan konstanta laju semu yang diperoleh pada temperatur 70 dan 95°C dari data pada Gambar 2.8 ke dalam persamaan Arrhenius (Persamaan 2.13), Ea semu untuk pelindian Ni, Co, Fe dan Mg ditentukan sebesar 75,5, 81,2, 110 dan 64,4 kJ/mol, (Tabel 2.2). Ea<sub>Fe</sub> yang jauh lebih tinggi (~110 kJ/mol) dibandingkan dengan Ni, Co, dan Mg dikaitkan dengan pelindiannya dari struktur oksida besi. Secara umum, energi aktivasi pelindian Ni dan Mg yang diamati dalam pekerjaan ini relatif lebih tinggi dibandingkan dalam literatur. Misalnya, masing-masing 54/46 dan 59/50 kJ/mol untuk Ni dan Mg, untuk pelindian asam dari bijih laterit saprolit. Nilai-nilai ini, sesuai dengan energi aktivasi yang diharapkan untuk proses yang dikontrol reaksi kimia yang kuat (>40 kJ/mol) (MacCarthy *et al.*, 2016).

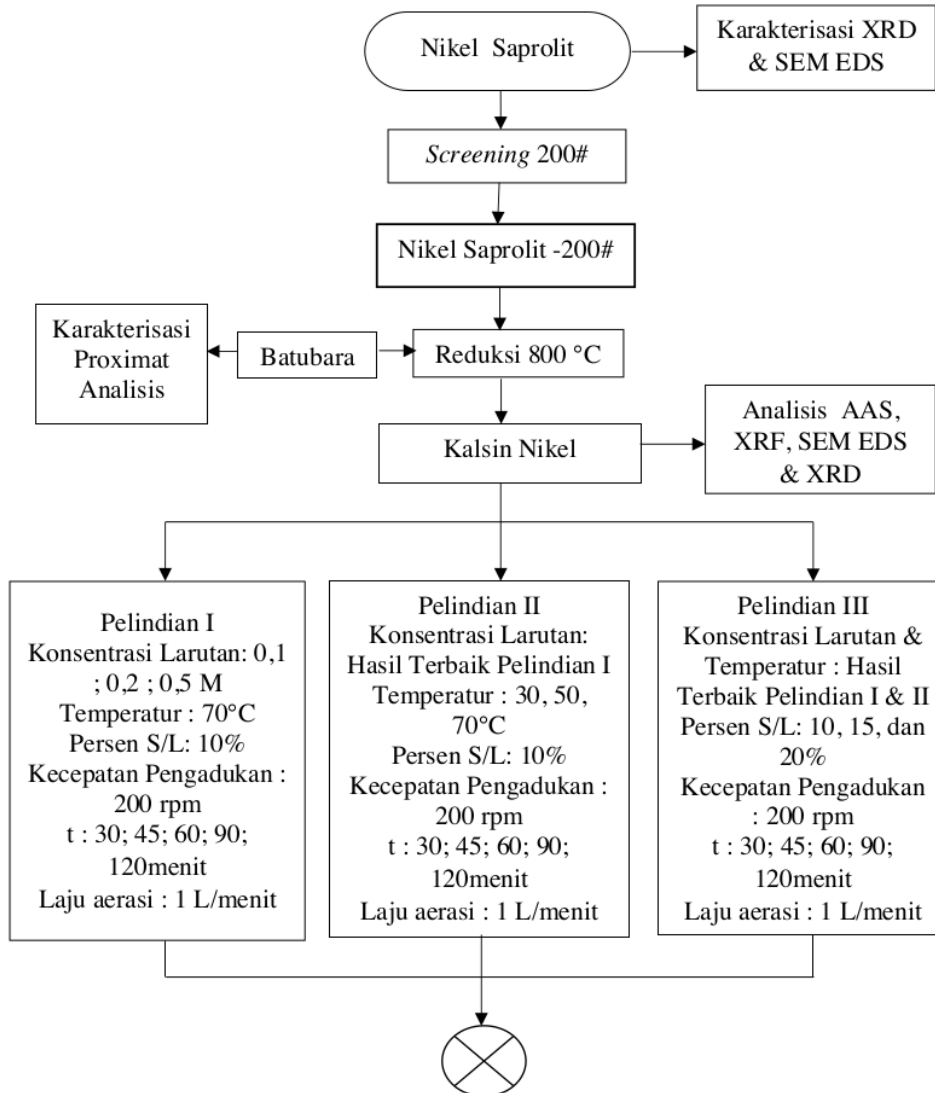
**Tabel 2.2** Konstanta Laju Semu dan Energi Aktivasi yang sesuai untuk *Shrinking Core* Model dengan reaksi kimia terkontrol (MacCarthy *et al.*, 2016)

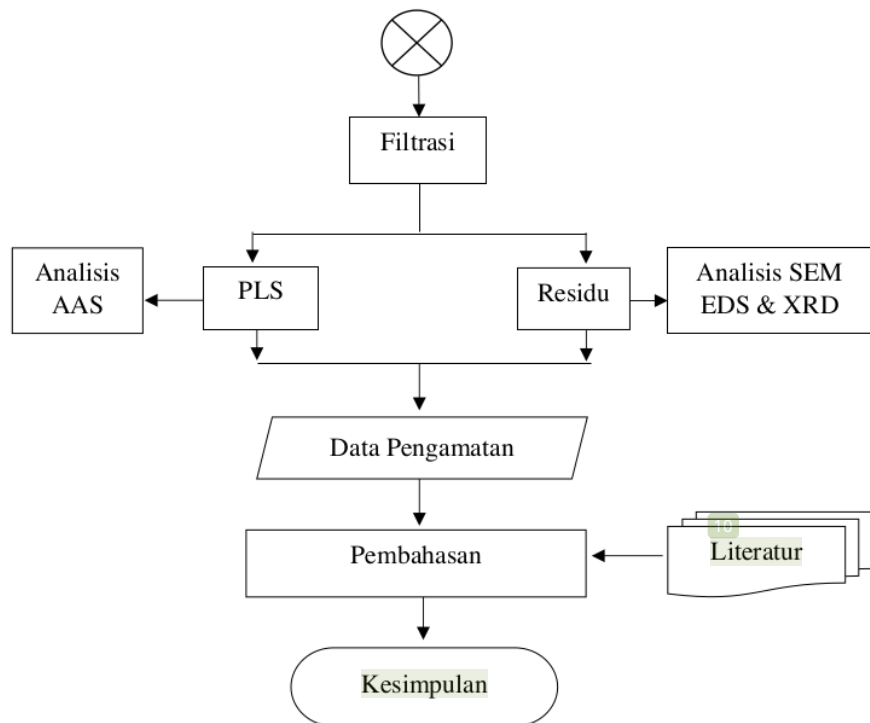
| Elemen | 70°C  | 95°C                                  | Ea (kJ/mol) |
|--------|---|---------------------------------------|-------------|
|        | <sup>14</sup> 10 <sup>4</sup> k(min <sup>-1</sup> ) | 10 <sup>3</sup> k(min <sup>-1</sup> ) |             |
| Ni     | 2,95 ± 0,15   | 1,76 ± 0,09                           | 75,5 ± 3,8  |
| Co     | 2,37 ± 0,19   | 1,62 ± 0,08                           | 81,2 ± 4,1  |
| Fe     | 0,85 ± 0,04   | 1,14 ± 0,06                           | 109,8 ± 5,5 |
| Mg     | 3,57 ± 0,18   | 1,64 ± 0,08                           | 64,4 ± 3,2  |

## METODE PENELITIAN

## 3.1 Diagram Alir Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang dilakukan pada penelitian ini dapat dijelaskan secara singkat melalui diagram alir seperti pada Gambar 3.1.





**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

## 3.2 Alat dan Bahan

### 3.2.1 Alat-alat yang Digunakan

Berikut ini merupakan alat-alat yang digunakan pada penelitian ini:

1. *Bulb*
2. *Corong*
3. *Furnace*
4. *Gelas Beker*
5. *Kertas Saring*
6. *Labu Ukur*
7. *Leaching Equipment*

8. Mesin Uji AAS
9. Mesin Uji SEM
10. Mesin Uji XRD
11. Mesin Uji XRF
12. Neraca Digital
13. Oven
14. Termometer

### **3.2.2 Bahan-bahan yang Digunakan**

Berikut ini merupakan bahan-bahan yang digunakan pada penelitian:

1. Aquades
2. Nikel Saprolit
3. Larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

### **3.3 Prosedur Penelitian**

Langkah awal dalam prosedur penelitian ini adalah bahan baku diakarakterisasi menggunakan AAS, XRF, dan XRD. Setelah itu, bijih nikel saprolit diayak dengan ukuran -200#. Kemudian dilakukan proses reduksi bijih nikel menjadi kalsin dengan temperatur 800°C ditambah 20% batubara menggunakan *furnace*. Proses reduksi ini berfungsi untuk penurunan bilangan oksidasi. Temperatur reduksi sebesar 800°C karena menurut literatur bijih nikel saprolit yang diberi perlakuan proses *roasting* akan muncul fasa *iron nickel* terutama pada saat temperatur 800°C. Berdasarkan diagram pourbaix, nikel tereduksi di temperatur sekitar 600-800°C, jika di atas 800°C maka terjadi austenisasi. Penambahan 20% batubara berfungsi untuk mempercepat reaksi pelindian dan meningkatkan



perolehan nikel.

Setelah diperoleh kalsin nikel dari proses reduksi, selanjutnya diuji XRD, untuk mengetahui senyawa yang terdapat pada sampel. Setelah itu, sampel dilakukan proses pelindian menggunakan asam sulfat dengan variasi konsentrasi 0,1 ; 0,2 ; 0,5 M dengan kecepatan pengadukan 200 rpm dan laju aerasi 1 L/menit. Penggunaan laju aerasi pada proses pelindian ini berfungsi untuk mempercepat reaksi pelindian. Kemudian, dari ketiga larutan tersebut ditentukan yang paling terbaik dari hasil uji AAS. Apabila sudah didapatkan, dilanjutkan ke proses pelindian nikel dengan variasi temperatur 30, 50, 70°C. Dari ketiga variasi temperatur tersebut, diambil hasil yang paling optimal.

Langkah selanjutnya adalah proses pelindian nikel dengan variasi persen S/L 10%, 15%, 20%. Cara membuat larutan nikel dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan persen S/L 10% adalah larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang digunakan sebanyak 800 ml, kemudian ditambahkan 10%. Begitu juga untuk variasi persen S/L 15% dan 20%. Dari proses pelindian dengan ketiga larutan tersebut ditentukan yang paling terbaik dari hasil uji AAS. Setiap setelah dilakukan pelindian, maka dilanjutkan dengan tahap filtrasi menggunakan kertas saring. Diperoleh PLS dan residu yang kemudian dilakukan pengujian AAS pada PLS dan uji XRD, SEM pada residunya. Data yang diamati adalah kadar Ni dan persen ekstraksi Ni. Cara menghitung persen ekstraksi nikel, yaitu jumlah nikel yang berhasil diperoleh dibandingkan dengan jumlah nikel pada keadaan awal. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan alat AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) berdasarkan standar ASTM D5863-00a(2016), analisis XRD berdasarkan standar JCPDS-ICDD card 38-0715, sedangkan

pengujian SEM berdasarkan standar JSM-6510LV. Prosedur <sup>37</sup> pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF)

Pengujian XRF untuk menganalisis komposisi unsur awal dalam suatu sampel secara cepat pada kalsin nikel saprolit. Analisis XRF dilakukan berdasarkan standar ASTM E2465-19. Sampel disiapkan sebanyak 5 gram untuk dianalisis XRF. Sampel dipreparasi terlebih dahulu menjadi bentuk koin dengan menggunakan alat *press*. Lalu *holder* disiapkan dan bagian bawah *holder* ditutup dengan plastik transparan. Kemudian sampel dimasukkan ke dalam *holder*. Mesin XRF dioperasikan dan juga piranti lunak yang digunakan dipilih untuk melakukan analisis. *Output* dari analisis XRF berupa data komposisi unsur yang terkandung pada sampel dalam satuan persen.

2. Pengujian *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS)

Filtrat atau *Pregnant Leach Solution* (PLS) dari hasil filtrasi dianalisis menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) berdasarkan standar ASTM D5863-00a(2016). Pengujian AAS <sup>2</sup> dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur nikel dan besi dalam sampel. PLS yang akan dianalisis masing-masing di-sampling sebanyak 5 ml, lalu diencerkan. *Output* dari analisis AAS berupa data kandungan unsur nikel dan besi dalam satuan ppm (mg/l).

3. Pengujian XRD

Sampel dikarakterisasi dengan menggunakan <sup>68</sup> *X-Ray Diffraction* (XRD).

Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan untuk mengetahui morfologi dan distribusi mineral serta jenis-jenis mineral pembentuk sampel. Standar yang digunakan pada uji karakterisasi XRD yaitu JCPDS-ICDD card 38-0715. Pada pengujian ini, sampel disiapkan sebanyak 10 gram. Selanjutnya sampel diletakkan pada sampel *holder* pada kaca *slide* mikroskop, serta dilakukan pengukuran sebelum masuk ke dalam mesin XRD, kemudian dimasukkan ke dalam mesin XRD, lalu dilakukan analisis. Dari hasil perekaman sampel akan dihasilkan grafik difraktogram yaitu grafik hubungan antara intensitas dan  $2\theta$ . Setelah itu, grafik dianalisis menggunakan aplikasi *High Score Plus* untuk mengetahui senyawa yang terbentuk.

#### 4. Pengujian SEM

Bahan baku, kalsin, dan residu dianalisis dengan SEM berdasarkan standar JSM-6510LV. Pengujian SEM dilakukan untuk menghasilkan gambar mikro struktur dan komposisi unsur kimia pada sampel. Mekanisme pengujian ini, menyiapkan sampel sebanyak 10 gram terlebih dahulu, kemudian sampel diletakkan di atas *holder*. Setelah itu penutup SEM diarahkan untuk masuk secara perlahan, pada tahap ini sampel tidak boleh menyentuh logam pembatas. Perbesaran, kontras, dan fokus diatur sesuai yang diinginkan, selanjutnya dipilih bagian sampel yang akan disinari oleh berkas elektron yang akan diambil. Analisis dilakukan dengan perbesaran 500 kali dan 1000 kali.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penelitian mengenai *atmospheric leaching* nikel saprolit menggunakan asam sulfat telah dilakukan dengan variabel-variabel tertentu. Pada penelitian ini menggunakan proses hidrometalurgi yang bertujuan untuk menentukan konsentrasi asam, temperatur, dan %S/L terbaik dengan harapan dapat menghasilkan persen ekstraksi nikel lebih dari 90% dan juga dapat mengetahui kinetika pelindiannya. Bijih nikel saprolit harus melalui proses reduksi terlebih dahulu, kemudian dilakukan proses *atmospheric leaching* menggunakan asam sulfat. Pada bab ini dijelaskan mengenai karakterisasi sampel awal, hasil, hingga produk akhir penelitian. Pada bab ini akan dibahas juga pengaruh konsentrasi asam sulfat, temperatur, dan %S/L terhadap persen perolehan ekstraksi nikel pada proses pelindian, serta laju pengendali pelindian kalsin nikel saprolit dan besarnya energi aktivasi yang diperoleh.

#### **4.1 Karakterisasi Nikel Saprolit dan Kalsin**

Setelah dilakukan tahapan preparasi awal, kemudian sampel diuji komposisi kimianya menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) untuk mengetahui kandungan unsur Fe dan Ni pada nikel saprolit. Selain itu, sampel juga dikarakterisasi menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF) yang bertujuan untuk mengetahui unsur yang terkandung.

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa terdapat kandungan unsur Ni dan Fe masing-masing sebesar 1,78% dan 4,24%. Ni dan Fe diuji menggunakan AAS

karena untuk menghasilkan ketelitian yang lebih tinggi, sehubungan dengan pengujian selanjutnya untuk kadar Ni dan Fe menggunakan AAS.

**Tabel 4.1** Hasil Analisis Komposisi Kimia dengan metode <sup>5</sup> AAS

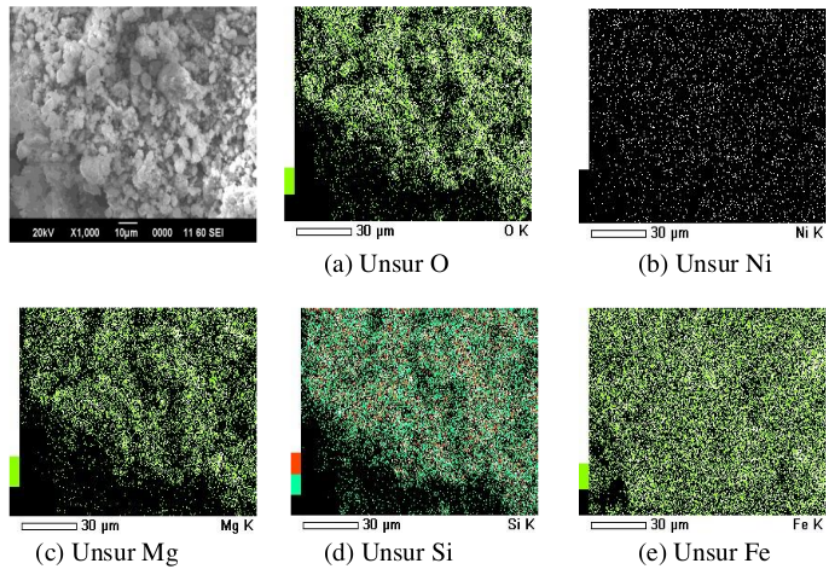
| Unsur | %    |
|-------|------|
| Ni    | 1,78 |
| Fe    | 4,24 |

**Tabel 4.2** Hasil Analisis Komposisi Kimia dengan metode XRF

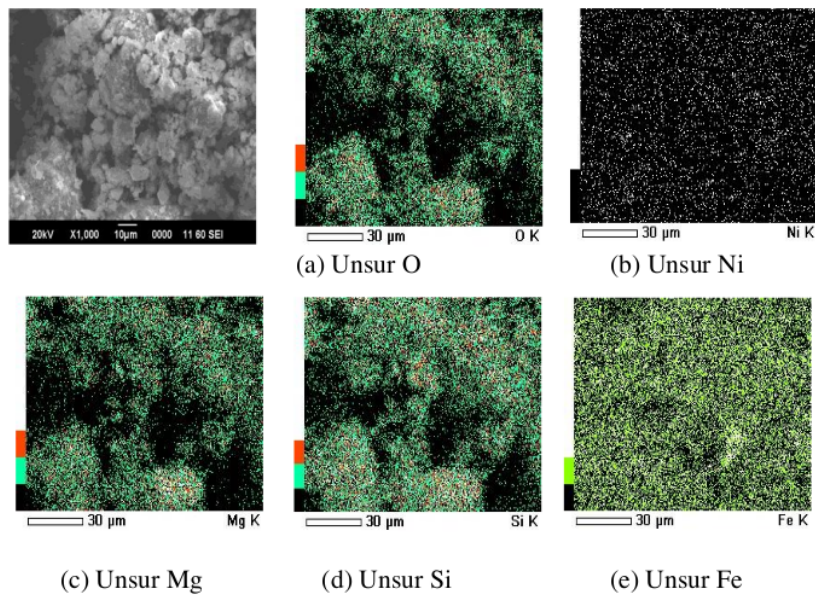
| Unsur | %       |
|-------|---------|
| Na    | 0,50248 |
| Al    | 1,10697 |
| Mg    | 22,9996 |
| Ti    | 0,0734  |
| Si    | 23,0995 |
| Cr    | 0,92064 |
| Ca    | 0,05918 |
| Zn    | 0,03482 |
| Ni    | 1,78    |
| Fe    | 4,24    |
| O     | 45,1835 |
| Total | 100     |

<sup>2</sup> Dapat dilihat pada Tabel 4.2 merupakan hasil analisis XRF kalsin nikel Saprolit. Dari data hasil XRF terdapat beberapa unsur pengotor yaitu Na, Al, Mg, Ti, Si, Cr, Ca dan Zn sebesar 0,38; 0,84; 17,49; 0,06; 17,56; 0,36; 0,04 dan 0,02%.

XRF yang tersedia tidak dapat menguji sampel dalam bentuk larutan dari filtrat hasil percobaan.



**Gambar 4.1** Hasil SEM pada Nikel Saprolit (perbesaran 1000x)



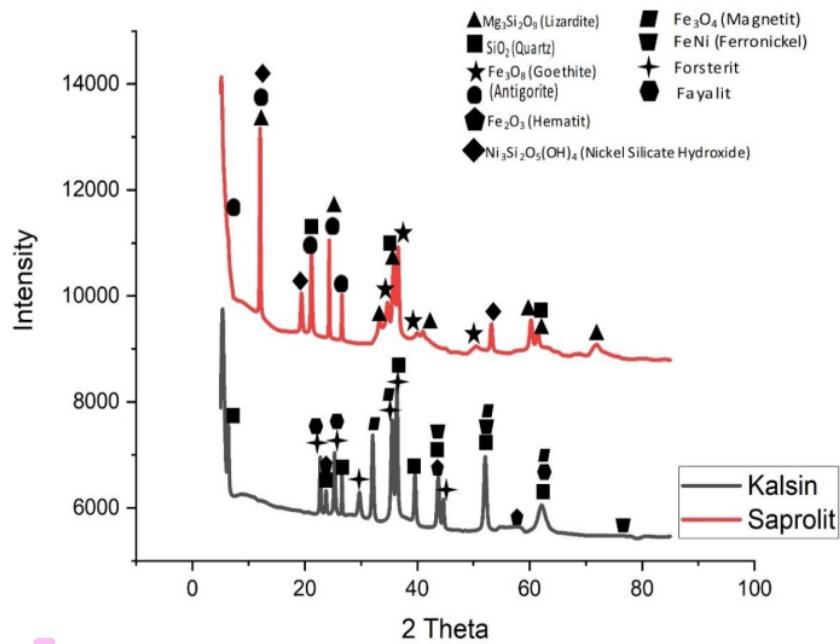
**Gambar 4.2** Hasil SEM pada Kalsin Nikel Saprolit (perbesaran 1000x)

Selanjutnya sampel awal <sup>74</sup> dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui morfologi dan distribusi unsur dalam sampel. <sup>15</sup> *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merupakan instrumen yang digunakan untuk memindai permukaan sampel dengan suatu sinar elektron. Pada penelitian ini bijih nikel saprolit dilakukan karakterisasi SEM dengan perbesaran 1000x.

Gradasi unsur oksigen pada sampel awal lebih sedikit daripada gradasi unsur oksigen pada kalsin, ini menandakan bahwa unsur besi, magnesium, silikon yang terkandung dalam bijih kemungkinan telah mengalami transformasi menjadi senyawa oksida yang lebih sederhana, sehingga distribusi unsur oksigen terdeteksi lebih jelas pada sampel kalsin.

Data distribusi unsur pada sampel nikel saprolit sebelum dilakukan reduksi (sampel awal) menunjukkan terdapat unsur-unsur dominan seperti O, Ni, Mg, Si, dan Fe. Sedangkan hasil karakterisasi distribusi pada sampel nikel saprolit hasil reduksi (kalsin) <sup>2</sup> seperti pada Gambar 4.2 juga menunjukkan unsur-unsur dominan yang sama. Karakterisasi lain yang diperlukan yaitu analisis struktur mineral untuk mengetahui jenis-jenis mineral pembentuk sampel dan perubahan struktur mineral setelah dilakukan reduksi. Karakterisasi ini menggunakan alat XRD. Gambar 4.3 menunjukkan perbandingan hasil analisis XRD antara bijih nikel saprolit dengan kalsin nikel saprolit.

Bijih nikel saprolit yang belum direduksi tersusun dari beberapa mineral yaitu *lizardit*, *quartz*, *goethite*, *antigorite*, dan nikel silika hidroksida. Hasil ini sesuai dengan literatur oleh Ledyantje Lintjewas. dkk, 2019 dan <sup>5</sup> juga sesuai dengan hasil yang telah dilakukan sebelumnya oleh MacCarthy, Jennifer. dkk, 2015.



**Gambar 4.3** Hasil XRD pada Bijih Nikel Saproilit dan Kalsin Nikel Saproilit

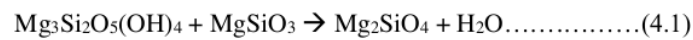
Pada kalsin nikel saproilit hasil reduksi terdapat mineral hematit, magnetit, *quartz*, ferronickel, forsterit, dan fayalit. Hasil ini sesuai dengan yang diharapkan dan juga sesuai dengan hasil yang telah dilakukan sebelumnya oleh Suprayogi, tahun 2012.

**Tabel 4.3** Hasil Pengujian XRD

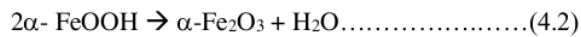
| Jenis mineral pada saproilit awal (sebelum reduksi) | Jenis mineral pada kalsin (setelah reduksi) |
|---|---|
| Lizardit ( $Mg_3Si_2O_9$ )                          | Hematit ( $Fe_2O_3$ )                       |
| <i>Quartz</i> ( $SiO_2$ )                           | <i>Quartz</i> ( $SiO_2$ )                   |
| <i>Goethite</i> ( $FeOOH$ )                         | Fayalit ( $Fe_2SiO_4$ )                     |
| Antigorit   | Forsterit ( $Mg_2SiO_4$ )                   |
| $(Mg,Fe)_3Si_2O_5(OH)_4$                            | <i>Ferronickel</i> ( $FeNi$ )               |
| Nikel silika hidroksida ( $Ni_3Si_2O_5(OH)_4$ )     | Magnetit ( $Fe_3O_4$ )                      |



Mineral-mineral utama dalam saprolit seperti *Lizardite*, *antigorite* mengalami perubahan struktur menjadi forsterit. *Lizardit* dan *antigorite* merupakan mineral serpentin, transformasi mineral serpentin menjadi forsterit disebabkan oleh berbagai faktor seperti temperatur tinggi dan pelarutan mineral. Mineral serpentin dengan struktur berlapis berubah menjadi forsterit dengan struktur amorf setelah perlakuan termal pada temperatur di atas 700°C. Selain itu, reduksi bijih laterit dapat mengakibatkan perubahan dalam fase mineral, termasuk pembentukan forsterit (Li, 1999). Transformasi lizardit menjadi forsterit dapat dilihat dari persamaan reaksi berikut:



Sedangkan *goethite* berubah menjadi hematit dan fayalit disebabkan oleh temperatur yang tinggi dan transformasi kimia dan mineral. Perubahan mineral goethit dapat terjadi dengan mengubah komposisi kimia dan mineral bijih di bawah pengaruh temperatur yang tinggi, yaitu transformasi fasa mineral yang direduksi pada temperatur hingga 800°C Transformasi kimia dan mineral goethit dapat terjadi akibat dehidroksilasi, pemanggangan reduksi dalam campuran gas CO dan CO<sub>2</sub>. Pemanggangan reduksi dapat menghilangkan kelembaban, tetapi tidak secara signifikan mengubah kandungan Fe dalam bahan baku. Namun, pemanggangan reduksi mengubah goethit menjadi hematit. Transformasi *goethite* menjadi hematit dapat dilihat dari persamaan reaksi berikut (Setiawan *et al.*, 2019):



Reduktor yang digunakan pada proses reduksi nikel saprolit ini yaitu batubara sub-bituminous yang sebelumnya telah dikarakterisasi dengan Proximat

Analisis untuk mengetahui kandungan karbon di dalam batubara.

**Tabel 4.4** Karakteristik batubara sub-bituminous dalam % berat (*as received*)

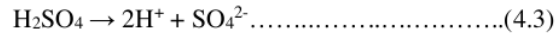
| Reduktor                | VM (%) | Ash (%) | FC (%) | S (%) | TM (%) | Kcal/Kg |
|-------------------------|--------|---------|--------|-------|--------|---------|
| Batubara sub-bituminous | 36,26  | 14,39   | 36,92  | 0,91  | 12,43  | 6000    |

Tabel 4.4 merupakan karakteristik batubara yang digunakan, kandungan FC (*fixed carbon*) pada batubara sebesar 36,92%, VM (*volatile matter*) bernilai 36,26%. sedangkan TM (*Total Moisture*) sebesar 12,43%. Nilai *fixed carbon* dalam batu bara sebesar 36,92%, menunjukkan bahwa 36,92% dari massa batu bara tersebut terdapat kandungan karbon yang tetap setelah proses pengeringan dan penghilangan *volatile matter*.

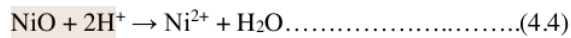
## 4.2 Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat terhadap Persen Ekstraksi Nikel

Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi proses pelindian adalah konsentrasi pelarut. Pada penelitian ini menggunakan larutan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) dengan variasi konsentrasi yang digunakan adalah 0,1; 0,2; 0,5M. Diuji pada sampel yang dilakukan pelindian selama 2 jam dengan penambahan batu bara sebanyak 20%. Sementara %S/L dan temperatur tetap konstan pada 10% dan 70°C, selama proses pelindian. Pada penelitian ini diperoleh persen ekstraksi nikel tertinggi pada konsentrasi  $H_2SO_4$  0,2M, yaitu sebesar 83,69%. Hasil yang diilustrasikan pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa persen ekstraksi logam meningkat dengan peningkatan konsentrasi  $H_2SO_4$ , namun pada konsentrasi  $H_2SO_4$  sebesar 0,5M terjadi penurunan persen ekstraksi nikel. Semakin tinggi konsentrasi asam sulfat menyebabkan jumlah ion hidrogen ( $H^+$ ) yang terbentuk pada tahap

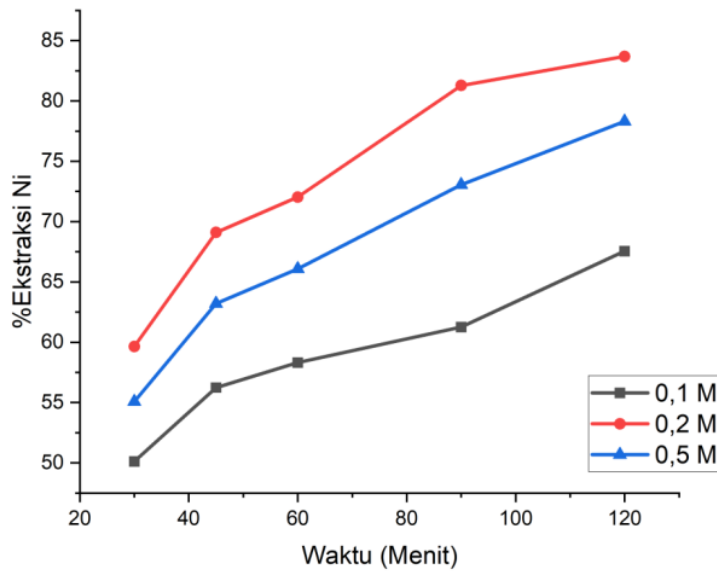
disosiasi asam juga akan meningkat. Persamaan reaksi yang terjadi pada tahap disosiasi asam sulfat adalah :



Peningkatan jumlah ion hydrogen ( $\text{H}^+$ ) ini akan mengakibatkan terjadinya peningkatan aktivitas pada tahap *proton attack*, dimana persamaan reaksi yang terjadi sebagai berikut :



Ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) yang terbentuk ini akan bereaksi dengan senyawa NiO yang terkandung dalam sampel. Semakin banyak ion hidrogen  $\text{H}^+$  yang bereaksi akan mengakibatkan ion nikel (II) ( $\text{Ni}^{2+}$ ) yang terbentuk akibat reaksi *proton attack* juga akan semakin banyak (Nida, 2017).



**Gambar 4.4** Grafik Pengaruh Konsentrasi terhadap Persen Ekstraksi Nikel

Ketika konsentrasi  $\text{H}_2\text{SO}_4$  sebesar 0,2M digunakan, diperoleh 83,69% Ni berhasil diekstraksi. Konsentrasi di bawah 0,2M dianggap tidak cukup untuk melarutkan Ni, sedangkan konsentrasi  $\text{H}_2\text{SO}_4$  sebesar 0,5M tidak lebih tinggi nilainya dari pada nilai persen ekstraksi nikel pada konsentrasi 0,2M. Menurut literatur, rasio ekstraksi nikel mencapai nilai konstan tertentu pada dosis asam sulfat lebih dari 0,16 mol/L, sekitar 85% dari total nikel (92% dari nikel logam) dapat diekstraksi (Katsuyoshi, 1991). Oleh karena itu, konsentrasi  $\text{H}_2\text{SO}_4$  sebesar 0,2M ditentukan sebagai konsentrasi yang paling maksimal.

Apabila dibandingkan dengan penelitian menggunakan kalsin nikel limonit yang sebelumnya telah dilakukan oleh Annisa Nabilah pada tahun 2022, penelitian tersebut dilakukan dengan durasi 4 jam memperoleh hasil konsentrasi  $\text{H}_2\text{SO}_4$  terbaik adalah 1M dengan persen ekstraksi nikel sebesar 97,45%. Sedangkan pada penelitian ini menggunakan kalsin nikel saprolit dengan durasi 2 jam memperoleh hasil konsentrasi  $\text{H}_2\text{SO}_4$  terbaik adalah 0,2M dengan persen ekstraksi nikel sebesar 83,69%.

#### **4.3 Pengaruh Temperatur terhadap Persen Ekstraksi Nikel**

Faktor lain yang dapat mempengaruhi persen ekstraksi nikel pada proses pelindian adalah temperatur. Pada penelitian ini variasi temperatur yang digunakan adalah 30, 50, dan 70°C. Dilakukan pelindian selama 2 jam dengan penambahan batu bara sebanyak 20%, sementara %S/L dan konsentrasi asam sulfat tetap konstan pada 10% dan 0,2M. Hasilnya menunjukkan bahwa temperatur memiliki efek terhadap ekstraksi nikel. Dengan menjaga kondisi reaksi lainnya tetap konstan, laju

pelarutan nikel meningkat dengan peningkatan temperatur reaksi pada waktu reaksi yang sama.

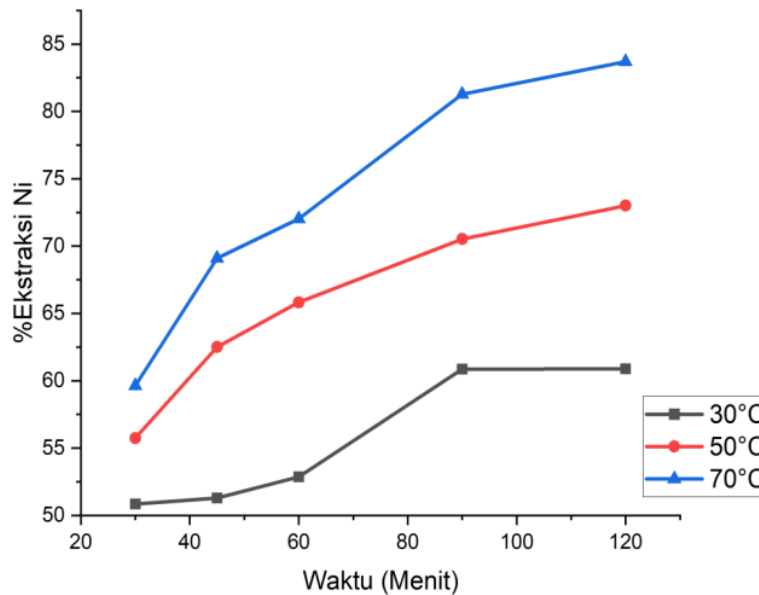
Peningkatan temperatur menyebabkan peningkatan persentase ekstraksi nikel disebabkan karena semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi pergerakan spesi yang bereaksi di dalam larutan. Tingginya pergerakan spesi yang bereaksi menyebabkan frekuensi tumbukan antara spesies yang bereaksi akan semakin tinggi yang menyebabkan tingginya produk reaksi yang terbentuk (Wahab *et al.*, 2021).

Pada temperatur yang lebih rendah, perubahan laju pelarutan relatif seiring waktu sangat kecil, menunjukkan bahwa proses pelarutan terbatas oleh reaksi kimia. Ketika temperatur proses meningkat, laju reaksi kimia meningkat, menyebabkan perubahan intensif laju pelarutan relatif, yang mengindikasikan bahwa zona reaksi dalam proses terjadi di tengah-tengah partikel bijih yang bereaksi. Hal ini menunjukkan adanya pengendalian difusi dalam proses pelarutan.

Hasil yang diilustrasikan pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa persen ekstraksi logam meningkat dengan peningkatan temperatur pelindian. Pada penelitian ini diperoleh persen ekstraksi nikel tertinggi pada temperatur 70°C yaitu sebesar 83.69%. Oleh karena itu, temperatur 70°C ditentukan sebagai temperatur pelindian yang paling tertinggi.

Apabila dibandingkan dengan penelitian menggunakan kalsin nikel limonit yang sebelumnya telah dilakukan oleh Annisa Nabilah pada tahun 2022, penelitian tersebut dilakukan dengan durasi 4 jam memperoleh hasil temperatur terbaik adalah 70°C dengan persen ekstraksi nikel sebesar 97,45%. Sedangkan pada penelitian ini

menggunakan kalsin nikel saprolit dengan durasi 2 jam memperoleh hasil temperatur terbaik adalah 70°C dengan persen ekstraksi nikel sebesar 83,69%.



**Gambar 4.5** Grafik Pengaruh Temperatur terhadap Persen Ekstraksi Nikel

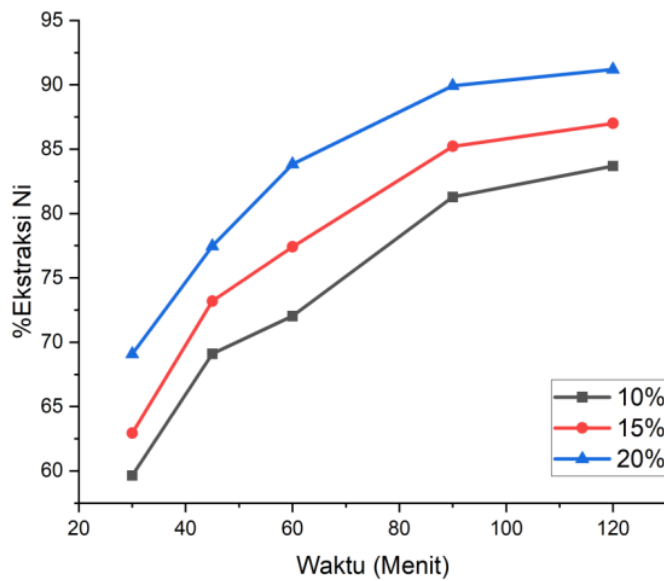
#### 4.4 Pengaruh %S/L terhadap Persen Ekstraksi Nikel

Selain konsentrasi asam dan temperatur pelindian, %S/L juga merupakan faktor yang dapat mempengaruhi persen ekstraksi nikel dalam proses pelindian. Pada penelitian ini variasi %S/L yang digunakan adalah 10, 15, dan 20%. Dilakukan pelindian selama 2 jam dengan penambahan batu bara sebanyak 20%, sementara temperatur dan konsentrasi asam sulfat tetap konstan pada 70°C dan 0,2M.

Persentase rasio cairan/padatan memengaruhi distribusi partikel bijih dan

area kontak antara partikel bijih dengan asam sulfat, dengan demikian memengaruhi laju pelarutan. Distribusi temperatur dan konsentrasi reaktan akan homogen dan stabil pada persentase rasio cairan/padatan yang sesuai, dan ekstraksi nikel akan tinggi dalam kondisi ini (Liu, 2013). Dengan peningkatan padatan dalam pelarut, ada lebih banyak kontak antara partikel bijih dan pelarut. Ini memungkinkan partikel bijih untuk lebih efisien berinteraksi dengan pelarut dan reaktan yang diperlukan untuk ekstraksi nikel.

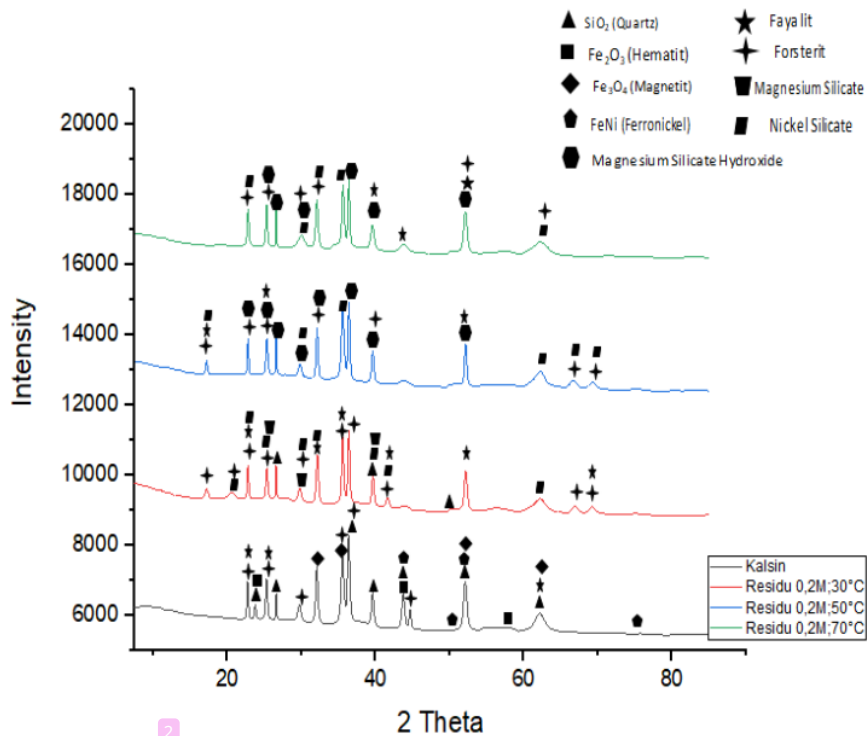
Gambar 4.6 menunjukkan hasil bahwa ekstraksi nikel meningkat seiring dengan peningkatan %S/L. Pada penelitian ini diperoleh persen ekstraksi nikel tertinggi pada %S/L 20% yaitu sebesar 91.2%. Oleh karena itu, %S/L 20% ditentukan sebagai %S/L yang paling baik.



**Gambar 4.6** Grafik Pengaruh %S/L terhadap Persen Ekstraksi Nikel

#### 4.5 Karakterisasi Residu Hasil dari Proses Pelindian

Pola difraksi yang dihasilkan dari residu hasil pelindian kalsin nikel saprolit dengan XRD ditampilkan pada gambar 4.7. Pola difraksi ini dianalisis dengan menggunakan *software high score plus*.



**Gambar 4.7** Hasil XRD pada Residu Hasil Pelindian

Gambar 4.7 menunjukkan perbandingan pola XRD dari kalsin nikel saprolit dan residu hasil pelindian yang diperoleh pada temperatur 30, 50, dan 70°C. Kalsin nikel saprolit tersusun dari beberapa mineral yaitu hematit, magnetit, *quartz*, ferronickel, forsterit, dan fayalit. Pada residu hasil pelindian ditemukan SiO<sub>2</sub>, forsterit, fayalit, nikel silikat, magnesium silikat, dan magnesium silikat hidroksida.



Dari perbandingan pola difraksi antara kalsin nikel saprolit dan ketiga residu hasil pelindian, terdapat sedikit perbedaan. Namun, terlihat ada beberapa mineral yang sama dimiliki oleh kalsin dan ketiga residu. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh MacCarthy, Jennifer. dkk, tahun 2015, bahwa terdapat SiO<sub>2</sub> dan magnesium silikat di dalam residu hasil pelindian kalsin nikel saprolit.

**Tabel 4.5** Data Pengujian XRD Kalsin dan Residu

| Jenis mineral pada Kalsin                     | Jenis mineral pada Residu (0,2M;30°C)             | Jenis mineral pada Residu (0,2M;50°C)  | Jenis mineral pada Residu (0,2M;70°C)  |
|---|---|--|--|
| Quartz (SiO <sub>2</sub> )                    | Quartz (SiO <sub>2</sub> )                        | Fayalit (Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> )                                      | Fayalit (Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> )                                      |
| Fayalit (Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> )   | Fayalit (Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> )       | Forsterit (Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> )                                    | Forsterit (Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> )                                    |
| Forsterit (Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> ) | Forsterit (Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> )     | Nikel Silikat (Ni <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> )                                | Nikel Silikat (Ni <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> )                                |
| Ferronickel (FeNi)                            | Nikel Silikat (Ni <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> ) | Magnesium Silikat  | Magnesium Silikat  |
| Hematit (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )     | Magnesium Silikat                                 | Hidroksida (Mg <sub>3</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(OH) <sub>4</sub> ) | Hidroksida (Mg <sub>3</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(OH) <sub>4</sub> ) |
| Magnetit (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )    |   |  |  |

Mineral pada kalsin seperti pada tabel 4.5 terdiri dari silika, fayalit, forsterit, FeNi, hematit, dan magnetit. Fayalit dihasilkan dari *goethite* yang bertransformasi menjadi FeO dan bereaksi dengan silika pada temperatur tinggi. Sedangkan forsterit dihasilkan dari dehidroksilasi lizardit, antigorit, atau mineral serpentin lainnya yang

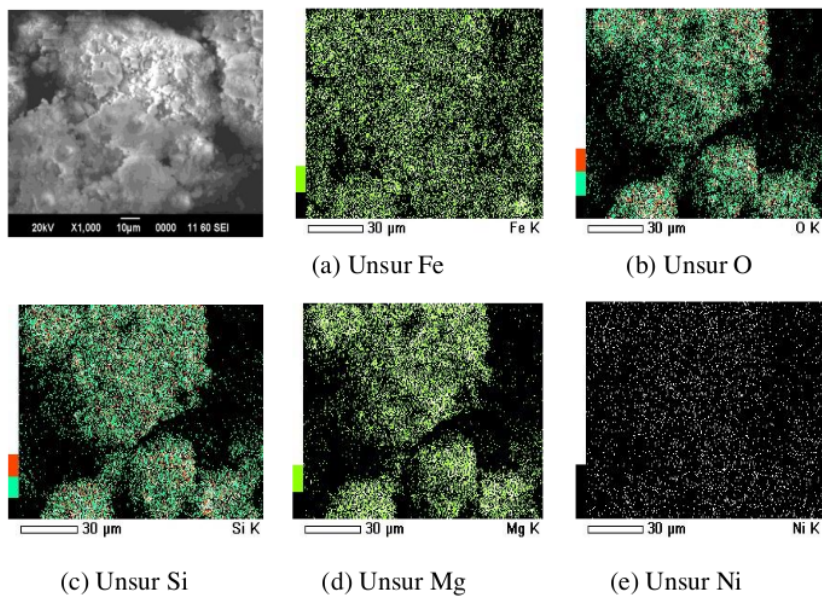
terbentuk pada temperatur reduksi yaitu sekitar 820°C. Hematit dan magnetit merupakan produk dehidroksilasi *goethite*. Ferronickel merupakan produk reduksi laterit dengan batu bara. (Setiawan *et al.*, 2019). Pada residu terdapat senyawa magnesium silikat hidroksida, terjadi dari hidrolisis magnesium silikat atau forsterit dengan adanya larutan asam.

Mineral pada kalsin seperti pada tabel 4.3 terdiri dari silika, fayalit, forsterit, FeNi, hematit, dan magnetit. Fayalit dihasilkan dari *goethite* yang bertransformasi menjadi FeO dan bereaksi dengan silika pada temperatur tinggi. Sedangkan forsterit dihasilkan dari dehidroksilasi lizardit, antigorit, atau mineral serpentin lainnya yang terbentuk pada temperatur reduksi yaitu sekitar 820°C. Hematit dan magnetit merupakan produk dehidroksilasi *goethite*. Ferronickel merupakan produk reduksi laterit dengan batu bara. (Setiawan *et al.*, 2019). Pada residu terdapat senyawa magnesium silikat hidroksida, terjadi dari hidrolisis magnesium silikat atau forsterit dengan adanya larutan asam.

Mineral ferronickel dalam kalsin mengalami perubahan struktur menjadi nikel silikat dalam residu karena disebabkan oleh beberapa faktor temperatur yang tinggi dan faktor pelarutan. Proses pelindian dengan asam sulfat biasanya melibatkan penggunaan temperatur tinggi. Asam sulfat adalah zat yang kuat dan dapat meresap ke dalam mineral-mineral dalam sampel. Ini dapat menyebabkan pelarutan mineral-mineral tertentu, yang kemudian dapat bereaksi dengan senyawa lain yang ada dalam sampel, termasuk logam nikel, untuk membentuk nikel silikat.

Gambar 4.8 merupakan hasil SEM pada residu yang menunjukkan persebaran unsur pada sampel dapat terlihat dari semakin berwarna hijau maka

semakin banyak unsur tersebut ditemukan. Pada Gambar 4.8 penyebaran unsur Ni sangat sedikit, dilihat dari intensitas warna yang tidak menghasilkan warna hijau. Hasil *mapping* pada Gambar 4.8 perbesaran 1000x menunjukkan bahwa terdapat intensitas warna yang cukup tinggi pada unsur Fe, O, Si, dan Mg. Hal ini menunjukkan unsur-unsur tersebut banyak tersebar pada residu hasil pelindian kalsin nikel saprolit.

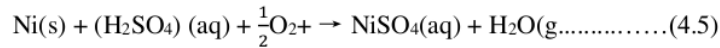


**Gambar 4.8** Hasil SEM pada Residu (perbesaran 1000x)

#### 4.6 Kinetika Pelindian Kalsin Nikel Saprolit

Kinetika pelindian nikel mengacu pada perubahan konsentrasi nikel dalam larutan selama reaksi pelindian nikel. Kinetika reaksi ini dapat digambarkan dengan berbagai cara, salah satu cara yang umum digunakan adalah dengan menggunakan hukum laju reaksi. Studi kinetika pada pelindian kalsin saprolit bertujuan untuk

memperoleh informasi penting tentang kinetika pelarutan nikel dalam larutan asam sulfat sehubungan dengan mekanisme pelindian (Xiao *et al.*, 2020). Reaksi kimia yang terlibat dalam pelindian nikel menggunakan asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) adalah sebagai berikut:



Proses pelindian kalsin nikel saprolit dapat dijelaskan dengan *Shrinking Core Model* (SCM), langkah yang menentukan laju dapat menjadi reaksi kimia di permukaan inti atau proses difusi (Petrovski *et al.*, 2019). Pada penggunaan *shrinking core model*, laju pengendali pada proses pelindian dapat diketahui dengan melihat nilai energi aktivasi, sehingga dengan mengetahui laju pengendali maka dapat menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi proses pelindian. Pada penelitian ini menggunakan tiga variasi temperatur yang berbeda yaitu 30, 50, dan 70°C. Ketiga variasi temperatur pelindian yang berbeda tersebut dilakukan dengan interval waktu mulai dari 30, 45, 60, 90, dan 120 menit.

Pengaruh temperatur dalam kinetika dapat diketahui dengan mengacu pada model yang paling berguna untuk menggambarkan pergerakan molekul yaitu teori kinetika molekular. Persamaan yang dapat digunakan untuk menggambarkan pengaruh temperatur terhadap konstanta laju adalah persamaan Arrhenius.

$$k = A e^{\frac{-Ea}{RT}} \dots \dots \dots (4.6)$$

$$\ln k = \frac{-Ea}{RT} + \ln A \dots \dots \dots (4.7)$$

$$\ln k = \frac{-Ea}{R} \left( \frac{1}{T} \right) + \ln A \dots \dots \dots (4.8)$$

<sup>66</sup> Ea adalah energi aktivasi, R adalah konstanta gas universal, T adalah temperatur (dalam kelvin), dan <sup>61</sup> A adalah konstanta proporsional yang disebut faktor frekuensi atau faktor pre-eksponen. Saat Ea meningkat, k akan lebih kecil, dan konstanta laju <sup>61</sup> yang lebih kecil sesuai dengan reaksi yang lebih lambat. Persamaan Arrhenius dapat digunakan untuk menentukan energi aktivasi secara eksperimental. Proses yang dikendalikan oleh *diffusion reaction controlled*, biasanya menghasilkan energi aktivasi yang rendah (<20 kJ mol<sup>-1</sup>), sementara untuk proses yang dikendalikan oleh *chemical reaction controlled*, energi aktivasinya tinggi atau lebih dari 40 kJ mol<sup>-1</sup> (MacCarthy *et al.*, 2016).

<sup>34</sup> Pada penelitian ini menggunakan tiga variasi temperatur, yaitu 30, 50, dan 70°C. Ketiga variasi temperatur pelindian tersebut dilakukan dengan interval waktu mulai dari 30, 45, 60, 90, dan 120 menit. Variasi temperatur dengan interval waktu ini digunakan untuk dapat <sup>18</sup> menentukan nilai energi aktivasi dari pelindian yang dilakukan. Tabel 4.4 merupakan fraksi mol yang didapatkan untuk menentukan kinetika reaksi.

**Tabel 4.6** Fraksi Mol Nikel yang Terekstrak

| Waktu Pelindian<br>(menit) | 0,2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ; %S/L 10% |       |       |
|----------------------------|--|-------|-------|
|                            | Fraksi Mol Nikel                               |       |       |
|                            | 30°C   | 50°C  | 70°C  |
| 30                         | 0,43   | 0,458 | 0,475 |
| 45                         | 0,44   | 0,489 | 0,514 |
| 60                         | 0,45   | 0,505 | 0,527 |
| 90                         | 0,493  | 0,529 | 0,565 |
| 120                        | 0,495  | 0,543 | 0,574 |

Setelah memperoleh fraksi mol, penentuan kinetika reaksi dihitung dengan menggunakan *shrinking core model* melalui persamaan berikut:

$$1 - (1 - x)^{1/3} = kt \dots\dots\dots(4.9)$$

$$1 + 2(1 - x) - 3(1 - x)^{2/3} = kt \dots\dots\dots(4.10)$$

Simbol x adalah fraksi mol nikel terlarut saat proses pelindian terhadap mol H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan t adalah lama pelindian dalam menit. Persamaan (4.9) merupakan laju pelindian dikontrol oleh reaksi kimia (*chemical controlled*). Persamaan (4.10) merupakan laju pelindian yang dikontrol oleh difusi melalui lapisan produk (*diffusion controlled*). Data dari persamaan (4.9) dan (4.10) dibuat ke dalam persamaan garis lurus, sehingga dapat diperoleh nilai konstanta dari ketiga temperatur pelindian yang dilakukan.

$$y = mx + c \dots\dots\dots(4.11)$$

Tabel 4.7 menunjukkan hasil dari nilai  $1 - (1 - x)^{1/3}$  terhadap waktu pelindian. Pada temperatur 70°C dan waktu pelindian 120 menit, diperoleh nilai *chemical controlled* yang tinggi dibandingkan dengan temperatur pelindian dan lama waktu yang rendah. Data tabel 4.7 diperoleh hasil bahwa semakin tinggi temperatur dan lama waktu pelindian maka nilai  $1 - (1 - x)^{1/3}$  diperoleh juga semakin tinggi.

Selanjutnya, fraksi mol nikel terekstrak dimasukkan ke dalam persamaan (4.10). Tabel 4.8 menunjukkan hasil dari nilai  $1 + 2(1 - x) - 3(1 - x)^{2/3}$  terhadap waktu pelindian. Pada temperatur 70°C dan waktu pelindian 120 menit, diperoleh nilai *diffusion controlled* yang tinggi dibandingkan dengan temperatur pelindian dan lama waktu yang rendah. Data tabel 4.8 diperoleh hasil bahwa semakin tinggi

temperatur dan lama waktu pelindian maka nilai  $1+2(1-x)-3(1-x)^{2/3}$  diperoleh juga semakin tinggi.

**Tabel 4.7** Nilai Model Kinetika *Chemical Reaction Controlled* dan  $R^2$

| Waktu<br>Pelindian<br>(menit) | 0,2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ; %S/L 10% |        |                                |        |                                |        |
|-------------------------------|--|--------|--------------------------------|--------|--------------------------------|--------|
|                               | 30°C   |        | 50°C                           |        | 70°C                           |        |
|                               | <i>Chemical<br/>controlled</i>                 | $R^2$  | <i>Chemical<br/>controlled</i> | $R^2$  | <i>Chemical<br/>controlled</i> | $R^2$  |
| 30                            | 0,1719   |        | 0,183                          |        | 0,1915                         |        |
| 45                            | 0,1741   |        | 0,1988                         |        | 0,212                          |        |
| 60                            | 0,1792   | 0,9108 | 0,207                          | 0,9346 | 0,2192                         | 0,9188 |
| 90                            | 0,2006   |        | 0,2202                         |        | 0,24                           |        |
| 120                           | 0,2018   |        | 0,2277                         |        | 0,2453                         |        |

Dari data pada tabel 4.7 dan 4.8 kemudian dihitung nilai konstantanya, sehingga dapat digunakan untuk menghitung nilai energi aktivasi dari pelindian nikel saprolit yang dilakukan serta menentukan model kinetika pelindian yang terjadi.

**Tabel 4.8** Nilai Model Kinetika *Diffusion Reaction Controlled* dan  $R^2$

| Waktu<br>Pelindian<br>(menit) | 0,2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ; %S/L 10% |        |                                 |        |                                 |        |
|-------------------------------|--|--------|---------------------------------|--------|---------------------------------|--------|
|                               | 30°C   |        | 50°C                            |        | 70°C                            |        |
|                               | <i>Diffusion<br/>controlled</i>                | $R^2$  | <i>Diffusion<br/>controlled</i> | $R^2$  | <i>Diffusion<br/>controlled</i> | $R^2$  |
| 30                            | 0,072  |        | 0,0816                          |        | 0,0891                          |        |
| 45                            | 0,0739   |        | 0,096                           |        | 0,1087                          |        |
| 60                            | 0,0782   | 0,9093 | 0,1039                          | 0,9466 | 0,116                           | 0,9306 |
| 90                            | 0,0977   |        | 0,117                           |        | 0,1378                          |        |
| 120                           | 0,0988   |        | 0,1247                          |        | 0,1437                          |        |

Konstanta yang diperoleh dimasukkan pada pembuatan grafik  $\ln k$  terhadap  $1/T$  sesuai dengan persamaan (4.8), kemudian dibuat grafik yaitu sumbu X merupakan  $1/T$  dan sumbu Y merupakan  $\ln k$ .

**Tabel 4.9** Nilai ln k terhadap Suhu pada Model Kinetika *Chemical Controlled*

| Suhu (°C) | Suhu (K) | 1/T (K <sup>-1</sup> ) | k (L mol <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> ) | ln k     |
|-----------|----------|------------------------|--|----------|
| 30        | 303      | 0,0033                 | 0,0004                                   | -7,82405 |
| 50        | 323      | 0,0031                 | 0,0005                                   | -7,6009  |
| 70        | 343      | 0,0029                 | 0,0006                                   | -7,41858 |

**Tabel 4.10** Nilai ln k terhadap Suhu pada Model Kinetika *Diffusion Controlled*

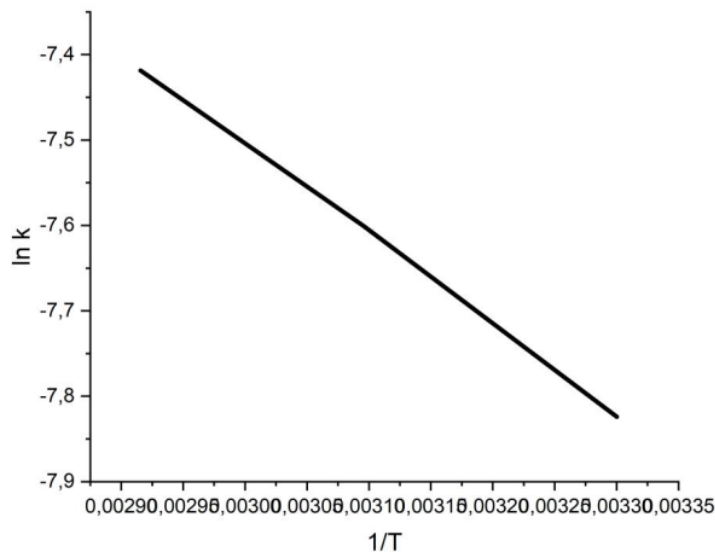
| Suhu (°C) | Suhu (K) | 1/T (K <sup>-1</sup> ) | k (L mol <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> ) | ln k     |
|-----------|----------|------------------------|--|----------|
| 30        | 303      | 0,0033                 | 0,0003                                   | -8,11173 |
| 50        | 323      | 0,0031                 | 0,0005                                   | -7,6009  |
| 70        | 343      | 0,0029                 | 0,0006                                   | -7,41858 |

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan persamaan Arrhenius, diperoleh nilai energi aktivasi. Energi aktivasi yang diperoleh pada model kinetika persamaan *chemical reaction controlled* sebesar 8,77 kJ/mol. Energi aktivasi yang diperoleh pada model kinetika persamaan *diffusion reaction controlled* sebesar 15,10 kJ/mol. Pada pelindian, *chemical reaction controlled* merupakan proses pelindian secara kinetika apabila kecepatan reaksi kimia jauh lebih lambat jika dibandingkan dengan kecepatan difusi. Sedangkan *diffusion reaction controlled* merupakan proses pelindian secara kinetika apabila kecepatan reaksi kimia jauh lebih cepat jika dibandingkan dengan kecepatan difusi.

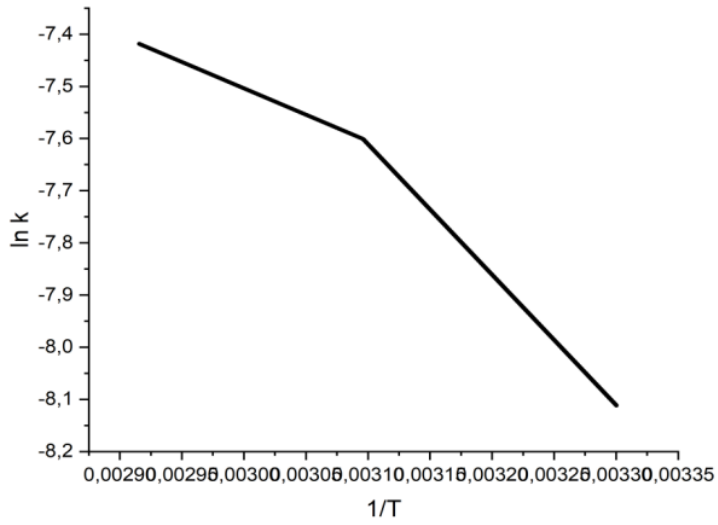
Pada penelitian ini, menunjukkan bahwa laju pengendali yang mempengaruhi proses pelindian kalsin nikel saprolit dari Pulau Gebe adalah difusi melalui film fluida. Pada penelitian ini pelindian yang dilakukan memperoleh nilai energi aktivasi yang rendah, hal ini menunjukkan bahwa pelindian kalsin nikel saprolit dapat dilakukan dengan spontan. Apabila dibandingkan dengan penelitian menggunakan kalsin nikel limonit yang sebelumnya telah dilakukan oleh Annisa



Nabilah pada tahun 2022, penelitian tersebut dilakukan dengan durasi 4 jam memperoleh energi aktivasi berturut-turut sebesar 13,1768 kJ/mol; 17,4835 kJ/mol; 13,14 kJ/mol dengan konsentrasi  $H_2SO_4$  0,2M; 0,5M; 1M pada persamaan *chemical controlled* dan untuk persamaan *diffusion controlled* energi aktivasi yang diperoleh pada konsentrasi  $H_2SO_4$  0,2M; 0,5M; 1M berturut-turut adalah sebesar 24,7832 kJ/mol; 10,2869 kJ/mol; 14,99 kJ/mol. Sedangkan pada penelitian ini menggunakan kalsin nikel saprolit dengan durasi 2 jam memperoleh energi aktivasi sebesar 8,77 kJ/mol; pada persamaan *chemical controlled* dan untuk persamaan *diffusion controlled* energi aktivasi yang diperoleh sebesar 15,10 kJ/mol. Kedua penelitian ini laju pengendali reaksinya dikendalikan oleh difusi melalui film fluida.



**Gambar 4.9** Grafik Hubungan antara Nilai  $\ln k$  dan  $1/T$  pada Model Kinetika *Chemical Reaction Controlled*



**Gambar 4.10** Grafik Hubungan antara Nilai  $\ln k$  dan  $1/T$  pada Model Kinetika *Diffusion Reaction Controlled*

**KESIMPULAN DAN SARAN****5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Konsentrasi  $H_2SO_4$  dan temperatur terbaik pada proses pelindian ini masing-masing adalah 0,2M dan 70°C.
2. Persen *solid/liquid* terbaik pada proses pelindian ini adalah 20% menghasilkan persen ekstraksi nikel sebesar 91,2%.
3. Kinetika pelindian nikel saprolit Pulau Gebe sesuai *shrinking core model* dengan pengendali laju reaksi secara difusi. Energi aktivasi pelindian bernilai 15,10 kJ/mol.

**5.2 Saran**

Beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Melakukan variasi ukuran bijih untuk mengetahui ukuran bijih terbaik untuk memperoleh persen ekstraksi nikel lebih tinggi.
2. Melakukan variasi kecepatan pengadukan untuk mengetahui kecepatan pengadukan terbaik untuk memperoleh persen ekstraksi nikel lebih tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

<sup>49</sup>  
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>.

<sup>2</sup>  
Bangalino, M. (2009) 'Pengaruh Penambahan Reduktor Sub-Bituminous Dan Briket Kokas Kadar 10%, 13%, 15%, 20% Terhadap Produk Reaksi Karbotermik Bijih Nikel Saprolit'.

<sup>43</sup>  
Basturcu, 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>.

<sup>60</sup>  
ESDM (2022) 'Neraca Sumber Daya dan Cadangan Mineral, Batubara, dan Panas Bumi Indonesia Tahun 2021', *Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral*, pp. 69–72.

<sup>72</sup>  
Habashi F. (1997). "Handbook of extractive metallurgy". Vol 1-Wiley.

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

<sup>11</sup>  
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.

<sup>11</sup>  
Isjudarto, A. (2013) 'Pengaruh Morfologi Lokal Terhadap Pembentukan Nikel Laterit', *Jurnal Kurvatek*, 8, pp. 10–14.

<sup>3</sup>  
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.

25  
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>.

32  
Li, S. (1999) 'Study of nickeliferous laterite reduction', *McMaster University*, pp. 1–184.

35  
Lintjewas, L., Setiawan, I. and Kausar, A. Al (2019) 'Profil Endapan Nikel Laterit di Daerah Palangga, Provinsi Sulawesi Tenggara', *RISSET Geologi dan Pertambangan*, 29(1), p. 91. Available at: <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2019.v29.970>.

70  
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>.

8  
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>.

89  
Muntaqin, A. *et al.* (2022) 'the Effect of Sulfuric Acid Concentration', *Jurnal Kimia Riset*, 7(1), pp. 20–27.

6  
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>.

6  
Petrovski, A. *et al.* (2019) 'Kinetic Models of Nickel Laterite Ore Leaching Process', 490(11), pp. 487–490.

55  
Ristiana, R. (2013) 'Sistem Monitoring Gas SO<sub>2</sub> pada Proses Pengolahan Bijih Galena', *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*, pp. 141–145.

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

40  
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>.

11  
Steyl, J.D.T., Pelser, M. and Smit, J.T. (2008) 'Atmospheric leach process for nickel laterite ores', *Hydrometallurgy 2008: Proceedings of the 6th International Symposium*, pp. 541–550.

33  
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>.

23  
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>.

51  
USGS (2023) *NICKEL. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries*. Available at: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023-nickel.pdf>.

48  
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>.

8  
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>.

Zevgolts, 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". Edisi 2. International Science. Dursion of John Wiley and Sons. New York.

**1**  
**LAMPIRAN A**  
**CONTOH PERHITUNGAN**



### Lampiran A. Contoh Perhitungan

#### A.1 Pembuatan Larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 M

$$\text{Diketahui: Berat molekul/Mr} = 98,08$$

$$\text{Massa jenis} = 1,84$$

$$\% \text{ H}_2\text{SO}_4 = 96\%$$

$$\text{Molaritas H}_2\text{SO}_4 = (10 \times \% \text{ H}_2\text{SO}_4 \times \text{Massa jenis})/\text{Mr}$$

$$= \frac{10 \times 96\% \times 1,84}{98,08}$$

$$= 18 \text{ M}$$

#### A.2 Larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 M dalam 800 ml

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$18 \cdot V_1 = 0,5 \cdot 800$$

$$V_1 = \frac{800 \times 0,5}{18}$$

$$V_1 = 22,22 \text{ ml}$$

#### A.3 Perhitungan Gram Solid untuk %S/L (w/w)

$$\text{Volume larutan H}_2\text{SO}_4 = 22,22 \text{ ml}$$

$$\text{Volume Aquades} = 777,78 \text{ ml}$$

$$\text{Berat Larutan H}_2\text{SO}_4 = \text{Vol larutan H}_2\text{SO}_4 \times \text{massa jenis H}_2\text{SO}_4$$

$$= 22,22 \text{ ml} \times 1,84 \text{ gr/cm}^3$$

$$= 40,88 \text{ gram}$$

$$\text{Berat total} = 40,88 \text{ gram} + 777,78 \text{ ml}$$

$$= 818,66 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned}
 \%S/L \text{ (w/w)} &= \frac{\text{Gram solid}}{\text{berat total}} \times 100\% \\
 10\% &= \frac{\text{Gram solid}}{\text{berat total}} \times 100\% \\
 \text{Gram solid} &= \frac{\text{Berat total} \times 10\%}{100\%} \\
 &= \frac{818,66 \times 10\%}{100\%} \\
 &= 81,866 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

#### A.4 Perhitungan Kadar Ni pada Kalsin

Diketahui:      Kadar Ni hasil pengujian                      : 0,893 ppm  
                          Faktor pengenceran                                      : 1000 kali  
                          Volume larutan induk                                      : 100 ml  
                          Massa sampel awal    : 5 gram

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar Ni} &= \frac{\text{Hasil uji (ppm)} \times \text{f.pengenceran} \times \text{vol larutan induk(l)}}{\text{massa sampel (mg)}} \times 100\% \\
 &= \frac{0,893 \times 1000 \times 0,1}{5000} \times 100\% \\
 &= 1,786\%
 \end{aligned}$$

#### A.5 Perhitungan Persen Ekstraksi Ni

1) Menghitung ppm Ni di beaker glass 800 ml

$$\begin{aligned}
 \text{ppm} &= \text{ppm terbaca} \times \text{faktor pengenceran} \\
 &= 12,296 \times \frac{50}{5} \times \frac{100}{5} \\
 &= 12,296 \times 10 \times 20 \\
 &= 2459,2 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

2) Menghitung berat Ni terlarut

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Ni} &= \text{ppm Ni} \times \frac{\text{volume larutan}}{1000} \\
 &= 2459,2 \times \frac{800}{1000} \\
 &= 1967,36 \text{ mg}
 \end{aligned}$$

3) Menghitung %Ekstraksi

$$\begin{aligned}\% \text{Ekstraksi Nikel} &= \frac{\text{berat nikel terekstrak}}{\text{berat nikel teoritis}} \times 100\% \\ &= \frac{1967,36}{2848} \times 100\% \\ &= 69,08 \%\end{aligned}$$

A.6 Perhitungan Kinetika

1) Menghitung Mol Ni

$$\text{Mol Ni} = \text{Ni dalam filtrat (ppm)} \times \text{f.pengenceran} \times \frac{1}{\text{Ar Ni}} \times \text{vol pelarut (L)}$$

$$\text{Mol Ni} = 4,526 \times 200 \times \frac{1}{58,7 \text{ gram/mol}} \times 0,8$$

$$\text{Mol Ni} = 0,1234 \text{ mol}$$

2) Menghitung Fraksi Mol

$$\text{Fraksi Mol} = \frac{\text{Mol Nikel}}{\text{Mol Nikel} + \text{Mol H}_2\text{SO}_4}$$

$$\text{Fraksi Mol} = \frac{0,1234}{0,1234 + 0,16}$$

$$\text{Fraksi Mol} = 0,4353$$

3) Perhitungan Persamaan *Chemical Controlled*

$$\begin{aligned}\text{Persamaan } \textit{Chemical Controlled} &= 1 - (1 - x)^{1/3} \\ &= 1 - (1 - 0,4353)^{1/3} \\ &= 0,1719\end{aligned}$$

4) Perhitungan Persamaan *Diffusion Controlled*

$$\text{Persamaan } \textit{Diffusion Controlled} = 1 + 2(1 - 0,4353) - 3(1 - 0,4353)^{2/3}$$

$$\text{Persamaan } \textit{Diffusion Controlled} = 0,072$$

- Fraksi mol tiap interval waktu pelindian dimasukkan ke dalam dua persamaan kinetika *shrinking core model*, yaitu model kinetika

*chemical reaction controlled* dan model kinetika *diffusion controlled* sehingga diperoleh dua tabel data. Fraksi mol dinyatakan dengan simbol x.

- Langkah berikutnya dibuat grafik dari dua tabel tersebut menggunakan Microsoft Excel dengan sumbu X sebagai interval waktu pelindian dan sumbu Y sebagai hasil perhitungan dengan persamaan *shrinking core model*.
- Dari grafik yang diperoleh, terdapat persamaan  $y = mx + c$ . Nilai m merupakan gradien atau kemiringan garis. Nilai m ini digunakan sebagai nilai k (konstanta) untuk menghitung energi aktivasi yang dihasilkan dari pelindian yang dilakukan.
- Ketiga nilai gradien dari masing-masing grafik tiap persamaan *shrinking core model* digunakan ke dalam persamaan  $\ln k = \ln A - (E_a/RT)$ , dengan  $\ln k$  sebagai sumbu Y dan  $1/T$  sebagai sumbu X.

##### 5) Perhitungan Energi Aktivasi

$$y = mx + c$$

$$m = -E_a/R$$

$$-E_a = R \times m$$

$$-E_a = 8,314 \text{ J/mol.K} \times -1816,2$$

$$-E_a = -15099,88 \text{ J/mol}$$

$$E_a = 15099,89 \text{ J/mol}$$

$$E_a = 15,09989 \text{ kJ/mol}$$

93

**LAMPIRAN B**

**DATA PENELITIAN**

## Lampiran B. Data Penelitian

**Tabel B.1** Hasil Analisis Komposisi Kimia dengan metode AAS

| Unsur | %    |
|-------|------|
| Ni    | 1,78 |
| Fe    | 4,24 |

**Tabel B.2** Hasil Analisis Komposisi Kimia dengan metode XRF

| Unsur | %       |
|-------|---------|
| Na    | 0,50248 |
| Al    | 1,10697 |
| Mg    | 22,9996 |
| Ti    | 0,0734  |
| Si    | 23,0995 |
| Cr    | 0,92064 |
| Ca    | 0,05918 |
| Zn    | 0,03482 |
| Ni    | 1,78    |
| Fe    | 4,24    |
| O     | 45,1835 |
| Total | 100     |

**Tabel B.3** Pengaruh Konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> terhadap Persen Ekstraksi Ni

| Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | % Ekstraksi   |       |       |       |       |
|--|---------------|-------|-------|-------|-------|
|  | Waktu (menit) |       |       |       |       |
|  | 30            | 45    | 60    | 90    | 120   |
| 0,1 M                                      | 50,12         | 56,24 | 58,31 | 61,25 | 67,54 |
| 0,2 M                                      | 59,64         | 69,10 | 72,03 | 81,28 | 83,69 |
| 0,5 M                                      | 55,07         | 63,21 | 66,09 | 73,06 | 78,30 |

**Tabel B.4** Pengaruh Temperatur terhadap Persen Ekstraksi Ni

| Temperatur °C | % Ekstraksi   |       |       |       |       |
|---------------|---------------|-------|-------|-------|-------|
|               | Waktu (menit) |       |       |       |       |
|               | 30            | 45    | 60    | 90    | 120   |
| 30            | 50,85         | 51,29 | 52,87 | 60,87 | 60,89 |
| 50            | 55,74         | 62,50 | 65,82 | 70,52 | 73,81 |
| 70            | 59,64         | 69,10 | 72,03 | 81,28 | 83,69 |

**Tabel B.5** Pengaruh %S/L terhadap Persen Ekstraksi Ni

| %S/L | % Ekstraksi   |       |       |       |       |
|------|---------------|-------|-------|-------|-------|
|      | Waktu (menit) |       |       |       |       |
|      | 30            | 45    | 60    | 90    | 120   |
| 10   | 59,64         | 69,10 | 72,03 | 81,28 | 83,69 |
| 15   | 62,93         | 73,19 | 77,41 | 85,22 | 87,00 |
| 20   | 69,08         | 77,46 | 83,84 | 89,92 | 91,20 |

**Tabel B.6** Fraksi Mol Nikel yang Terekstrak

| Waktu Pelindian<br>(menit) | 0,2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ; %S/L 10% |       |       |
|----------------------------|--|-------|-------|
|                            | Fraksi Mol Nikel Terekstraksi                  |       |       |
|                            | 30°C   | 50°C  | 70°C  |
| 30                         | 0,43   | 0,458 | 0,475 |
| 45                         | 0,44   | 0,489 | 0,514 |
| 60                         | 0,45   | 0,505 | 0,527 |
| 90                         | 0,493  | 0,529 | 0,565 |
| 120                        | 0,495  | 0,543 | 0,574 |

**Tabel B.7** Nilai Model Kinetika *Chemical Reaction Controlled* dan R<sup>2</sup>

| Waktu<br>Pelindian<br>(menit) | 0,2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ; %S/L 10% |                              |                            |                |                            |                |
|-------------------------------|--|------------------------------|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|
|                               | 30°C   |                              | 50°C                       |                | 70°C                       |                |
|                               | <i>Chemical controlled</i>                     | <sup>57</sup> R <sup>2</sup> | <i>Chemical controlled</i> | R <sup>2</sup> | <i>Chemical controlled</i> | R <sup>2</sup> |
| 30                            | 0,1719   |                              | 0,183                      |                | 0,1915                     |                |
| 45                            | 0,1741   |                              | 0,1988                     |                | 0,212                      |                |
| 60                            | 0,1792   | 0,9108                       | 0,207                      | 0,9346         | 0,2192                     | 0,9188         |
| 90                            | 0,2006   |                              | 0,2202                     |                | 0,24                       |                |
| 120                           | 0,2018   |                              | 0,2277                     |                | 0,2453                     |                |

**Tabel B.8** Nilai Model Kinetika *Diffusion Reaction Controlled* dan R<sup>2</sup>

| Waktu<br>Pelindian<br>(menit) | 0,2M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ; %S/L 10% |                |                             |                |                             |                |
|-------------------------------|--|----------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|
|                               | 30°C   |                | 50°C                        |                | 70°C                        |                |
|                               | <i>Diffusion controlled</i>                    | R <sup>2</sup> | <i>Diffusion controlled</i> | R <sup>2</sup> | <i>Diffusion controlled</i> | R <sup>2</sup> |
| 30                            | 0,072  |                | 0,0816                      |                | 0,0891                      |                |
| 45                            | 0,0739   |                | 0,096                       |                | 0,1087                      |                |
| 60                            | 0,0782   | 0,9093         | 0,1039                      | 0,9466         | 0,116                       | 0,9306         |
| 90                            | 0,0977   |                | 0,117                       |                | 0,1378                      |                |
| 120                           | 0,0988   |                | 0,1247                      |                | 0,1437                      |                |



**Tabel B.9** Nilai  $\ln k$  terhadap Suhu pada Model Kinetika *Chemical Controlled*

| Suhu (°C) | Suhu (K) | 1/T (K <sup>-1</sup> ) | k (L mol <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> ) | ln k     |
|-----------|----------|------------------------|--|----------|
| 30        | 303      | 0,0033                 | 0,0004                                   | -7,82405 |
| 50        | 323      | 0,0031                 | 0,0005                                   | -7,6009  |
| 70        | 343      | 0,0029                 | 0,0006                                   | -7,41858 |

**Tabel B.10** Nilai  $\ln k$  terhadap Suhu pada Model Kinetika *Diffusion Controlled*

| Suhu (°C) | Suhu (K) | 1/T (K <sup>-1</sup> ) | k (L mol <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> ) | ln k     |
|-----------|----------|------------------------|--|----------|
| 30        | 303      | 0,0033                 | 0,0003                                   | -8,11173 |
| 50        | 323      | 0,0031                 | 0,0005                                   | -7,6009  |
| 70        | 343      | 0,0029                 | 0,0006                                   | -7,41858 |

**Tabel B.11** Data Pengujian AAS Residu Variasi Konsentrasi

| Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | ppm           |       |       |       |       |
|--|---------------|-------|-------|-------|-------|
|  | Waktu (menit) |       |       |       |       |
|  | 30            | 45    | 60    | 90    | 120   |
| 0,1 M                                      | 4,461         | 5,504 | 5,89  | 6,76  | 7,88  |
| 0,2 M                                      | 5,308         | 6,212 | 6,552 | 7,612 | 7,904 |
| 0,5 M                                      | 4,901         | 5,683 | 6,011 | 6,842 | 7,395 |

**Tabel B.12** Data Pengujian AAS Residu Variasi Temperatur

| Temperatur °C | ppm           |       |       |       |       |
|---------------|---------------|-------|-------|-------|-------|
|               | Waktu (menit) |       |       |       |       |
|               | 30            | 45    | 60    | 90    | 120   |
| 30            | 4,526         | 4,611 | 4,809 | 5,701 | 5,751 |
| 50            | 4,961         | 5,619 | 5,987 | 6,604 | 6,971 |
| 70            | 5,308         | 6,212 | 6,552 | 7,612 | 7,904 |

**Tabel B.13** Data Pengujian AAS Residu Variasi %S/L

| %S/L | ppm           |        |        |        |        |
|------|---------------|--------|--------|--------|--------|
|      | Waktu (menit) |        |        |        |        |
|      | 30            | 45     | 60     | 90     | 120    |
| 10   | 5,308         | 6,212  | 6,552  | 7,612  | 7,904  |
| 15   | 8,401         | 9,87   | 10,561 | 11,972 | 12,326 |
| 20   | 12,296        | 14,347 | 15,803 | 17,697 | 18,786 |

10

**LAMPIRAN C**

**GAMBAR ALAT DAN BAHAN**

**Lampiran C. Gambar Alat dan Bahan**



**Gambar C.1** *Aquades*



**Gambar C.2** *Atmospheric leaching*



**Gambar C.3** *Batubara*



**Gambar C.4** *Bulb*



**Gambar C.5** *Corong*



**Gambar C.6** *Filtrasi*



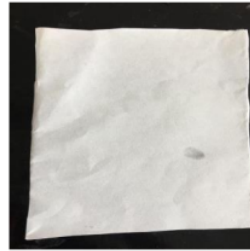
**Gambar C.7** *Filtrat*



**Gambar C.8** *Furnace*



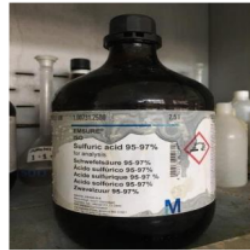
**Gambar C.9** Gelas beker



**Gambar C.10** Kertas saring



**Gambar C.11** Labu ukur



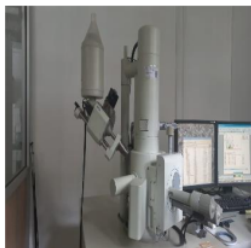
**Gambar C.12** Larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>



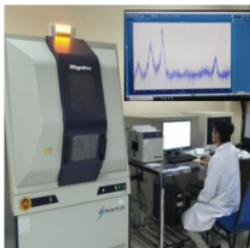
**Gambar C.13** Leaching Equipment



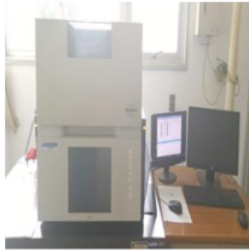
**Gambar C.14** Mesin Uji AAS



28  
**Gambar C.15** Mesin Uji SEM



**Gambar C.16** Mesin Uji XRD



28  
**Gambar C.17** Mesin Uji XRF



**Gambar C.18** Neraca Digital



**Gambar C.19** Nikel Saprolit



**Gambar C.20** Oven



**Gambar C.21** Residu



**Gambar C.22** Thermometer

# Skripsi Angelique Gloria Rotua 3334190057

---

## ORIGINALITY REPORT

---

28%

SIMILARITY INDEX

27%

INTERNET SOURCES

10%

PUBLICATIONS

11%

STUDENT PAPERS

---

## PRIMARY SOURCES

---

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | <a href="http://eprints.untirta.ac.id">eprints.untirta.ac.id</a><br>Internet Source     | 3% |
| 2 | <a href="http://repository.its.ac.id">repository.its.ac.id</a><br>Internet Source       | 2% |
| 3 | <a href="http://ejournal.undiksha.ac.id">ejournal.undiksha.ac.id</a><br>Internet Source | 1% |
| 4 | <a href="http://www.scribd.com">www.scribd.com</a><br>Internet Source                   | 1% |
| 5 | <a href="http://docplayer.info">docplayer.info</a><br>Internet Source                   | 1% |
| 6 | <a href="http://jurnal.polban.ac.id">jurnal.polban.ac.id</a><br>Internet Source         | 1% |
| 7 | <a href="http://dspace.uui.ac.id">dspace.uui.ac.id</a><br>Internet Source               | 1% |
| 8 | Submitted to University of Cape Town<br>Student Paper                                   | 1% |
| 9 | <a href="http://digilib.unila.ac.id">digilib.unila.ac.id</a><br>Internet Source         | 1% |

---

|    |  |      |
|----|--|------|
| 10 | Submitted to Universitas Sultan Ageng Tirtayasa<br>Student Paper   | 1 %  |
| 11 | repository.unhas.ac.id<br>Internet Source  | 1 %  |
| 12 | jurnal.unpad.ac.id<br>Internet Source  | 1 %  |
| 13 | ejournalmaterialmetalurgi.lipi.go.id<br>Internet Source  | <1 % |
| 14 | MacCarthy, Jennifer, Ataollah Nosrati, William Skinner, and Jonas Addai-Mensah.<br>"Atmospheric acid leaching mechanisms and kinetics and rheological studies of a low grade saprolitic nickel laterite ore",<br>Hydrometallurgy, 2016.<br>Publication | <1 % |
| 15 | es.scribd.com<br>Internet Source   | <1 % |
| 16 | repository.unsri.ac.id<br>Internet Source  | <1 % |
| 17 | journal.atim.ac.id<br>Internet Source  | <1 % |
| 18 | 123dok.com<br>Internet Source  | <1 % |
| 19 | repository-ft.untirta.ac.id<br>Internet Source   | <1 % |



<1 %

20

[repository.umy.ac.id](https://repository.umy.ac.id)

Internet Source

<1 %

21

[pdfs.semanticscholar.org](https://pdfs.semanticscholar.org)

Internet Source

<1 %

22

[databoks.katadata.co.id](https://databoks.katadata.co.id)

Internet Source

<1 %

23

[coek.info](https://coek.info)

Internet Source

<1 %

24

[lipi.go.id](https://lipi.go.id)

Internet Source

<1 %

25

Submitted to Universitas Indonesia

Student Paper

<1 %

26

Submitted to Universitas Pamulang

Student Paper

<1 %

27

[repositorio.unal.edu.co](https://repositorio.unal.edu.co)

Internet Source

<1 %

28

[www.coursehero.com](https://www.coursehero.com)

Internet Source

<1 %

29

[www.ccsf.edu](https://www.ccsf.edu)

Internet Source

<1 %

30

[foitic.itenas.ac.id](https://foitic.itenas.ac.id)

Internet Source

<1 %

|    |   |      |
|----|---|------|
| 31 | <a href="http://text-id.123dok.com">text-id.123dok.com</a><br>Internet Source                     | <1 % |
| 32 | <a href="http://zdocs.tips">zdocs.tips</a><br>Internet Source                                     | <1 % |
| 33 | <a href="http://www.tandfonline.com">www.tandfonline.com</a><br>Internet Source                   | <1 % |
| 34 | <a href="http://bukukimia-ebook.blogspot.com">bukukimia-ebook.blogspot.com</a><br>Internet Source | <1 % |
| 35 | <a href="http://jurnal-unsultra.ac.id">jurnal-unsultra.ac.id</a><br>Internet Source               | <1 % |
| 36 | <a href="http://id.123dok.com">id.123dok.com</a><br>Internet Source                               | <1 % |
| 37 | <a href="http://lib.ui.ac.id">lib.ui.ac.id</a><br>Internet Source                                 | <1 % |
| 38 | <a href="http://repository.unpar.ac.id">repository.unpar.ac.id</a><br>Internet Source             | <1 % |
| 39 | <a href="http://repository.library.uksw.edu">repository.library.uksw.edu</a><br>Internet Source   | <1 % |
| 40 | <a href="http://repository.ung.ac.id">repository.ung.ac.id</a><br>Internet Source                 | <1 % |
| 41 | <a href="http://www.idxchannel.com">www.idxchannel.com</a><br>Internet Source                     | <1 % |
| 42 | Submitted to Sriwijaya University<br>Student Paper  | <1 % |

|    |  |      |
|----|--|------|
| 43 | <a href="http://avesis.itu.edu.tr">avesis.itu.edu.tr</a><br>Internet Source  | <1 % |
| 44 | <a href="http://docplayer.biz.tr">docplayer.biz.tr</a><br>Internet Source  | <1 % |
| 45 | <a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a><br>Internet Source  | <1 % |
| 46 | <a href="http://repository.uinjkt.ac.id">repository.uinjkt.ac.id</a><br>Internet Source  | <1 % |
| 47 | Sita Jumatin Arapahni, Dani Mahmud, Agus Gusnandjar, Adang Durachim.<br>"PERBANDINGAN FIKSASI MENGGUNAKAN NBF 10% DAN MADU TERHADAP KEUTUHAN KOMPONEN JARINGAN HATI DENGAN PEWARNAAN HE", Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung, 2019<br>Publication | <1 % |
| 48 | Submitted to Universitas Teknologi Sumbawa<br>Student Paper  | <1 % |
| 49 | <a href="http://jurnal.tekmira.esdm.go.id">jurnal.tekmira.esdm.go.id</a><br>Internet Source  | <1 % |
| 50 | <a href="http://repository.usd.ac.id">repository.usd.ac.id</a><br>Internet Source  | <1 % |
| 51 | Submitted to Phenikaa University<br>Student Paper  | <1 % |
| 52 | <a href="http://jurnal.fp.unila.ac.id">jurnal.fp.unila.ac.id</a><br>Internet Source  | <1 % |

<1 %

53

[repository.um-palembang.ac.id](https://repository.um-palembang.ac.id)

Internet Source

<1 %

54

[nanopdf.com](https://nanopdf.com)

Internet Source

<1 %

55

[online-journal.unja.ac.id](https://online-journal.unja.ac.id)

Internet Source

<1 %

56

Submitted to Universitas Pelita Harapan

Student Paper

<1 %

57

[repositorio.uvm.cl](https://repositorio.uvm.cl)

Internet Source

<1 %

58

Submitted to Fakultas Ekonomi Universitas  
Indonesia

Student Paper

<1 %

59

Submitted to University of Sydney

Student Paper

<1 %

60

[www.detik.com](https://www.detik.com)

Internet Source

<1 %

61

[doku.pub](https://doku.pub)

Internet Source

<1 %

62

[repository.univ-tridinanti.ac.id](https://repository.univ-tridinanti.ac.id)

Internet Source

<1 %

|    |  |      |
|----|--|------|
| 63 | Iin Inayah. "PENGARUH MODEL PEMBELAJARAN INKUIRI TERBIMBING TERHADAP HASIL BELAJAR IPA SISWA KELAS IV MATERI BAGIAN TUMBUHAN", Ibtida'i : Jurnal Kependidikan Dasar, 2020<br>Publication | <1 % |
| 64 | Kui Liu, Xue Mei Su. "Atmospheric Acid Leaching of a Ferruginous Nickel Laterite", Advanced Materials Research, 2013<br>Publication  | <1 % |
| 65 | Submitted to University of Nottingham<br>Student Paper   | <1 % |
| 66 | <a href="http://digilib.uns.ac.id">digilib.uns.ac.id</a><br>Internet Source  | <1 % |
| 67 | <a href="http://dspace.cuni.cz">dspace.cuni.cz</a><br>Internet Source  | <1 % |
| 68 | <a href="http://eprints.uny.ac.id">eprints.uny.ac.id</a><br>Internet Source  | <1 % |
| 69 | <a href="http://repository.mercubuana.ac.id">repository.mercubuana.ac.id</a><br>Internet Source  | <1 % |
| 70 | <a href="http://www.sciencegate.app">www.sciencegate.app</a><br>Internet Source  | <1 % |
| 71 | Zaki Mubarok, Yahya Yahya. "STUDI PERILAKU PELINDIAN TIMBAL DARI BIJIH GALENA NANGGUNG KABUPATEN BOGOR DALAM   | <1 % |

# LARUTAN ASAM ASETAT DAN OKSIDATOR HIDROGEN PEROKSIDA", Metalurgi, 2018

Publication

---

|    |   |      |
|----|---|------|
| 72 | <a href="http://civilica.com">civilica.com</a><br>Internet Source                             | <1 % |
| 73 | <a href="http://dspace.kocaeli.edu.tr:8080">dspace.kocaeli.edu.tr:8080</a><br>Internet Source | <1 % |
| 74 | <a href="http://repo.itera.ac.id">repo.itera.ac.id</a><br>Internet Source                     | <1 % |
| 75 | <a href="http://repository.wima.ac.id">repository.wima.ac.id</a><br>Internet Source           | <1 % |
| 76 | <a href="http://www.sav.sk">www.sav.sk</a><br>Internet Source                                 | <1 % |
| 77 | <a href="http://www.ysxbcn.com">www.ysxbcn.com</a><br>Internet Source                         | <1 % |
| 78 | Submitted to Universitas Riau<br>Student Paper  | <1 % |
| 79 | <a href="http://docslide.us">docslide.us</a><br>Internet Source                               | <1 % |
| 80 | <a href="http://ikee.lib.auth.gr">ikee.lib.auth.gr</a><br>Internet Source                     | <1 % |
| 81 | <a href="http://journal.bcrec.id">journal.bcrec.id</a><br>Internet Source                     | <1 % |
| 82 | <a href="http://repository.utu.ac.id">repository.utu.ac.id</a><br>Internet Source             | <1 % |

83

[www.cnbcindonesia.com](http://www.cnbcindonesia.com)

Internet Source

&lt;1 %

84

[www.neliti.com](http://www.neliti.com)

Internet Source

&lt;1 %

85

Kurnia Trinopiawan, Mohammad Zaki Mubarak, June Mellawati, Budi Yuli Ani. "Pelindian Logam Tanah Jarang dari Terak Timah dengan Asam Klorida setelah Proses Fusi Alkali", EKSPLORIUM, 2016

Publication

&lt;1 %

86

Sandy Anggara, Afriyastuti Herawati, Irnanda Priyadi, Ika Novia Anggraini. "Analisis Perubahan Besaran Listrik Pada Pemanas Induksi Menggunakan Inverter Setengah Jembatan", JURNAL AMPLIFIER : JURNAL ILMIAH BIDANG TEKNIK ELEKTRO DAN KOMPUTER, 2020

Publication

&lt;1 %

87

[bisnisuntung7.blogspot.com](http://bisnisuntung7.blogspot.com)

Internet Source

&lt;1 %

88

[dergipark.org.tr](http://dergipark.org.tr)

Internet Source

&lt;1 %

89

[e-journal.unair.ac.id](http://e-journal.unair.ac.id)

Internet Source

&lt;1 %

90

[journal.unpar.ac.id](http://journal.unpar.ac.id)

Internet Source

&lt;1 %

|    |  |      |
|----|--|------|
| 91 | link.springer.com<br>Internet Source   | <1 % |
| 92 | repositori.usu.ac.id<br>Internet Source  | <1 % |
| 93 | repository.president.ac.id<br>Internet Source  | <1 % |
| 94 | www.scilit.net<br>Internet Source  | <1 % |
| 95 | Junhui Xiao, Wenliang Xiong, Kai Zou, Tao Chen, Hong Li, Zhen Wang. "Extraction of Nickel from Magnesia–Nickel Silicate Ore", Journal of Sustainable Metallurgy, 2021<br>Publication   | <1 % |
| 96 | repository.upi.edu<br>Internet Source  | <1 % |
| 97 | Ding Zhao, Baozhong Ma, Bingding Shi, Zhengen Zhou, Peng Xing, Chengyan Wang. "Mineralogical Characterization of Limonitic Laterite from Africa and Its Proposed Processing Route", Journal of Sustainable Metallurgy, 2020<br>Publication | <1 % |
| 98 | Eni Febriana, Agung Tristiyan, Wahyu Mayangsari, Agus Budi Prasetyo. "Kinetika dan Mekanisme Pelindian Limonit : Pengaruh Waktu dan Temperatur [Kinetics and   | <1 % |



# Mechanism of Limonite Nickel Ore Dissolution : Effect of Time and Temperature]", Metalurgi, 2018

Publication

---

99

Rudi Subagja. "KINETIKA REAKSI PELARUTAN NIKEL DARI KALSIN NIKEL LATERIT [Kinetics of Nickel Dissolution from Nickel Laterite Calcine]", Metalurgi, 2015

Publication

---

<1 %

100

[repository.uin-alauddin.ac.id](http://repository.uin-alauddin.ac.id)

Internet Source

---

<1 %

101

[repository.ub.ac.id](http://repository.ub.ac.id)

Internet Source

---

<1 %

---

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography Off

# Skripsi Angelique Gloria Rotua 3334190057

---

PAGE 1

---

PAGE 2

---

PAGE 3

---

PAGE 4

---

PAGE 5

---

PAGE 6

---

PAGE 7

---

PAGE 8

---

PAGE 9

---

PAGE 10

---

PAGE 11

---

PAGE 12

---

PAGE 13

---

PAGE 14

---

PAGE 15

---

PAGE 16

---

PAGE 17

---

PAGE 18

---

PAGE 19

---

PAGE 20

---

PAGE 21

---

PAGE 22

---

PAGE 23

---

PAGE 24

---

PAGE 25

---

PAGE 26

---

PAGE 27

---

PAGE 28

---

PAGE 29

---

PAGE 30

---

PAGE 31

---

PAGE 32

---

PAGE 33

---

PAGE 34

---

PAGE 35

---

PAGE 36

---

PAGE 37

---

PAGE 38

---

PAGE 39

---

PAGE 40

---

PAGE 41

---

PAGE 42

---

PAGE 43

---

PAGE 44

---

PAGE 45

---

PAGE 46

---

PAGE 47

---

PAGE 48

---

PAGE 49

---

PAGE 50

---

PAGE 51

---

PAGE 52

---

PAGE 53

---

PAGE 54

---

PAGE 55

---

PAGE 56

---

PAGE 57

---

PAGE 58

---

PAGE 59

---

PAGE 60

---

PAGE 61

---

PAGE 62

---

PAGE 63

---

PAGE 64

---

PAGE 65

---

PAGE 66

---

PAGE 67

---

PAGE 68

---

PAGE 69

---

PAGE 70

---

PAGE 71

---

PAGE 72

---

PAGE 73

---

PAGE 74

---

PAGE 75

---

PAGE 76

---

PAGE 77

---

PAGE 78

---

PAGE 79

---

PAGE 80

---

PAGE 81

---

PAGE 82

---

PAGE 83

---

PAGE 84

---

PAGE 85

---