

**SKRIPSI**

**PENGARUH WAKTU KALSINASI TERHADAP PENINGKATAN KADAR  
NIKEL BIJIH SAPROLIT MENGGUNAKAN REDUKTOR BATUBARA  
DAN ADITIF  $\text{Na}_2\text{CO}_3$**

**Disusun dan diajukan oleh**

**ASWAD ALMUQARAM**

**D111181701**



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2023**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**PENGARUH WAKTU KALSINASI TERHADAP PENINGKATAN KADAR  
NIKEL BIJIH SAPROLIT MENGGUNAKAN REDUKTOR BATUBARA DAN  
ADITIF  $\text{Na}_2\text{CO}_3$**

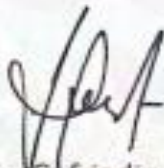
**Disusun dan diajukan oleh**

**ASWAD ALMUQARAM  
D111181701**

Telg dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 6 Maret 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

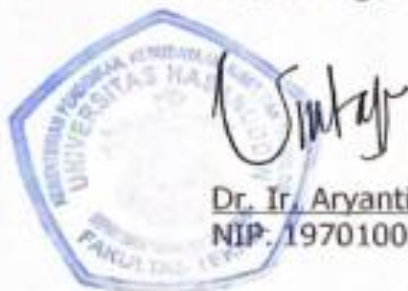
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Ir. Sufriadin, S.T., M.T.  
NIP. 196608172000121001

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Aryanti Virianti Anas, S.T., M.T.  
NIP. 197010052008012026

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aswad Almuqaram  
NIM : D111181701  
Program Studi : Teknik Pertambangan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

**PENGARUH WAKTU KALSINASI TERHADAP PENINGKATAN KADAR NIKEL BIJIH SAPROLIT MENGGUNAKAN REDUKTOR BATUBARA DAN ADITIF  $\text{Na}_2\text{CO}_3$**

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

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

Makassar, Maret 2023

Yang menyatakan  
  
Aswad Almuqaram



## ABSTRAK

Semakin menipisnya bijih nikel sulfida menyebabkan bijih nikel laterit secara bertahap menjadi sumber daya utama untuk produksi nikel. Proses kalsinasi merupakan salah satu metode pra-pengolahan yang digunakan untuk mengolah bijih nikel kadar rendah yang ketersediannya melimpah di dunia. Kalsinasi adalah metode pemanasan yang dilakukan pada bijih untuk mereduksi senyawa nikel dan besi oksida pada bijih. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu kalsinasi terhadap peningkatan kadar bijih saprolit menggunakan batubara dan aditif  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  sebagai reduktor. Proses kalsinasi pada penelitian ini dilakukan pada suhu  $1100\text{ }^\circ\text{C}$  dengan variabel waktu 30, 60, 90, dan 120 menit serta penambahan reduktor batubara dan aditif  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  sebesar 10%. Berat bijih saprolit yang digunakan adalah 15 gram dengan kadar Ni 1,48%. Setelah kalsinasi bijih saprolit kemudian ditimbang dan dianalisis menggunakan analisis Mikroskopis, XRD dan XRF. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kadar Ni tertinggi mencapai 1,88% pada variabel waktu kalsinasi 30 menit menggunakan reduktor batubara tanpa penambahan aditif  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Berdasarkan penelitian yang dilakukan waktu kalsinasi berpengaruh pada peningkatan kadar Ni, dimana semakin lama waktu kalsinasi yang digunakan maka perolehan kadar yang diperoleh juga kurang optimal.

**Kata kunci:** Bijih Saprolit ; Kalsinasi ; Batubara ;  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

## ***ABSTRACT***

The depletion of nickel sulfide ores causes lateritic nickel ores to gradually become the main resource for nickel production. The calcination process is one of the pre-processing methods used to process low-grade nickel ore, which is abundantly available around the world. Calcination is a heating method performed on ore to reduce nickel and iron oxide compounds in the ore. This study aims to determine the effect of variations in calcination time on increasing the content of saprolite ore using coal and the additive  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  as a reducing agent. The calcination process in this study was carried out at a temperature of 1100 °C with a time variable of 30, 60, 90, and 120 minutes and the addition of a coal reducing agent and a 10%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  additive. The weight of the saprolite ore used is 15 grams with a Ni content of 1.48%. After calcination, the saprolite ore was then weighed and analyzed using microscopic, XRD, and XRF analysis. The results showed that the highest increase in Ni content reached 1.88% at 30 minutes of calcination time variable using a coal reducing agent without the addition of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  additives. Based on the research conducted, the calcination time has an effect on increasing the Ni content, where the longer the calcination time is used, the less optimal the content obtained is.

***Keyword:*** *Saprolite Ore; Calcination ; Coal;  $\text{Na}_2\text{CO}_3$*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur patut penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena atas segala nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan penelitian dan dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir (Skripsi) yang berjudul "Pengaruh Waktu Kalsinasi terhadap Peningkatan Kadar Nikel Bijih Saprolit menggunakan Reduktor Batubara dan Aditif  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ", yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S-1) pada Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Shalawat serta salam tidak lupa pula penulis haturkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW sebagai *Rahmatan Lil' Alamin*.

Selama melakukan kegiatan penelitian sampai penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Suharto yang telah memberikan dukungan dan bimbingan selama proses penelitian. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada ketua Departemen dan Staf Departemen Teknik Pertambangan yang telah membantu administrasi penulis selama melaksanakan penelitian sampai penyelesaian skripsi. Terima kasih kepada Bapak Dr. Sufriadin, ST., M.T., selaku koordinator LBE Analisis dan Pengolahan Bahan Galian dan selaku dosen pembimbing penulis, yang telah membimbing penulis selama proses penelitian sampai penyelesaian skripsi ini.

Kepada Ayahanda dan Ibunda tercinta serta seluruh saudara-saudara penulis yang senantiasa mendoakan, memberikan semangat dan dukungan kepada penulis selama menempuh studi di Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Sebagai manusia biasa yang tidak lepas dari berbagai kekurangan penulis menyadari bahwa di dalam skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan untuk itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan guna penyempurnaan

skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat berguna bagi kita semua. Mohon maaf apabila terdapat kesalahan dalam penulisan skripsi ini. Sekian dan terima kasih.

Makassar, Oktober 2022

Aswad Almuqaram

# DAFTAR ISI

|  | Halaman |
|--|---------|
| HALAMAN JUDUL.....                               | i       |
| HALAMAN PENGESAHAN .....                         | ii      |
| PERNYATAAN KEASLIAN .....                        | iii     |
| ABSTRAK.....                                     | iv      |
| <i>ABSTRACT</i> .....                            | v       |
| KATA PENGANTAR.....                              | vi      |
| DAFTAR ISI .....                                 | viii    |
| DAFTAR GAMBAR .....                              | xi      |
| DAFTAR TABEL .....                               | xiii    |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                            | xiv     |
| BAB I PENDAHULUAN .....                          | 1       |
| 1.1 Latar Belakang .....                         | 1       |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                        | 3       |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....                       | 3       |
| 1.4 Manfaat Penelitian .....                     | 3       |
| 1.5 Batasan Masalah .....                        | 3       |
| 1.6 Lokasi dan Kesampaian Daerah Penelitian..... | 4       |
| 1.7 Tahapan Penelitian .....                     | 5       |
| BAB II KALSINASI BIJIH SAPROLIT .....            | 8       |
| 2.1 Nikel Laterit .....                          | 8       |
| 2.2 Genesis Endapan Nikel Laterit.....           | 11      |



|  |  |    |
|--|--|----|
| 2.3  | Pengolahan Bijih Nikel Laterit .....   | 15 |
| 2.4  | Kalsinasi pada Pengolahan Bijih Nikel Laterit .....  | 24 |
| 2.5  | Batubara .....   | 26 |
| 2.6  | Pengaruh Aditif dalam Kalsinasi Bijih Nikel Laterit .....  | 27 |
| 2.7  | Pengaruh Reduktan dalam Reduksi Selektif Bijih Nikel Laterit.....  | 29 |
| 2.8  | Aditif Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .....   | 31 |
| BAB III METODE PENELITIAN.....                         |  | 33 |
| 3.1  | Alat dan Bahan.....  | 33 |
| 3.2  | Variabel Penelitian .....  | 34 |
| 3.3  | Prosedur Penelitian.....   | 35 |
| 3.4  | Bagan Alir Penelitian .....  | 45 |
| BAB IV KARAKTERISTIK DAN KALSINASI BIJIH SAPROLIT..... |  | 46 |
| 4.1  | Karakterisasi Bahan .....  | 46 |
| 4.2  | Pengaruh Waktu Kalsinasi dengan Penggunaan Reduktor Batubara terhadap kadar Ni .....   | 50 |
| 4.3  | Pengaruh Waktu Kalsinasi dengan Penggunaan Reduktor Batubara dan Aditif Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> terhadap Kadar Ni .....              | 55 |
| 4.4  | Pengaruh Waktu Kalsinasi dengan Penggunaan Reduktor Batubara dan Aditif Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> terhadap Kadar Unsur Fe.....         | 59 |
| 4.5  | Pengaruh Waktu Kalsinasi dengan Penggunaan Reduktor Batubara dan Aditif Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> terhadap Recovery Ni dan Fe .....    | 61 |
| 4.6  | Pengaruh Waktu Kalsinasi dengan Penggunaan Reduktor Batubara dan Aditif Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> terhadap Rasio Silika Magnesia ..... | 63 |

|                        |    |
|------------------------|----|
| BAB V PENUTUP.....     | 64 |
| 5.1    Kesimpulan..... | 64 |
| 5.2    Saran .....     | 65 |
| DAFTAR PUSTAKA .....   | 66 |
| LAMPIRAN               |    |

## DAFTAR GAMBAR

|   | Halaman |
|---|---------|
| Gambar 1. 1 Peta Lokasi Pengambilan sampel .....  | 4       |
| Gambar 2. 1 Distribusi Cadangan Nikel Dunia (Mcrae, 2019).....  | 9       |
| Gambar 2. 2 Persebaran endapan nikel di dunia (Elias, 2002) .....   | 11      |
| Gambar 2. 3 Profil endapan nikel laterit pada penambangan Pomala .....  | 12      |
| Gambar 2. 4 Proses pengolahan bijih nikel laterit berdasarkan tipe bijih.....   | 16      |
| Gambar 2. 5 Diagram alir proses pengolahan bijih nikel laterit .....  | 17      |
| Gambar 2. 6 Pengaruh penambahan aditif pada reduksi selektif pada temperature<br>1200°C : (a) 4%, (b) 8%, (c) 12%, (d) 16%..... | 29      |
| Gambar 3. 1 Kuartering sampel .....   | 36      |
| Gambar 3. 2 Penggerusan sampel menggunakan agate mortar .....   | 37      |
| Gambar 3. 3 Proses pengayakan sampel.....   | 37      |
| Gambar 3. 4 Mikroskop polarisasi yang digunakan untuk analisis mikroskopis .....  | 39      |
| Gambar 3. 5 Alat XRD yang digunakan untuk analisis komposisi mineral .....  | 40      |
| Gambar 3. 6 Alat XRF yang digunakan untuk analisis kandungan kimia bijih .....  | 41      |
| Gambar 3. 7 Muffle furnace YAMATO FO 310 .....  | 41      |
| Gambar 3. 8 LECO S832DR Dual Range Sulfur Determinator .....  | 42      |
| Gambar 3. 9 Proses Kalsinasi .....  | 43      |
| Gambar 3. 10 Diagram Alir Penelitian .....  | 45      |
| Gambar 4. 1 Hasil pengamatan mikroskopis .....  | 46      |
| Gambar 4. 2 Difaktogram sampel bijih saprolit .....   | 47      |
| Gambar 4. 3 Grafik waktu kalsinasi terhadap perubahan kadar Ni menggunakan<br>reduktor batubara .....                           | 51      |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 4. 4 Difaktogram Hasil Reduksi Selektif dengan menggunakan reduktor batubara .....   | 52 |
| Gambar 4. 5 Hasil Pengamatan Mikroskopis mineral hasil kalsinasi pada suhu 1100 °C menggunakan reduktor batubara .....  | 54 |
| Gambar 4. 6 Pengaruh waktu kalsinasi terhadap peningkatan kadar Ni menggunakan reduktor batubara dan aditif Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .....             | 56 |
| Gambar 4. 7 Pengaruh waktu reduksi terhadap peningkatan kadar Ni .....  | 57 |
| Gambar 4. 8 Difaktogram Hasil Reduksi selektif menggunakan reduktor batubara dan aditif Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .....                                 | 57 |
| Gambar 4. 9 Grafik variasi waktu kalsinasi terhadap Kadar Fe pada suhu 1100 °C menggunakan reduktor batubara dan aditif Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ..... | 60 |
| Gambar 4.10 Recovery Ni dari hasil kalsinasi menggunakan reduktor batubara dan aditif Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .....                                   | 61 |
| Gambar 4. 11 Perolehan Recovery Fe dari hasil kalsinasi .....   | 62 |
| Gambar 4. 12 Grafik pengaruh waktu reduksi terhadap rasio silika magnesita.....   | 63 |

## DAFTAR TABEL

|  | Halaman |
|--|---------|
| Tabel 4. 1 Fasa mineral bijih saprolit .....   | 48      |
| Tabel 4. 2 Komposisi kimia bijih saprolit yang digunakan pada penelitian ini .....   | 49      |
| Tabel 4. 3 Hasil Analisis Kadar Batubara .....   | 50      |
| Tabel 4. 4 Komposisi kimia hasil reduksi selektif dengan penambahan reduktor batubara .....  | 50      |
| Tabel 4. 5 Mineral hasil kalsinasi pada suhu 1100 °C menggunakan reduktor batubara .....   | 53      |
| Tabel 4. 6 Komposisi kimia mineral hasil kalsinasi menggunakan reduktor batubara dan aditif Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .....            | 55      |
| Tabel 4. 7 Mineral Hasil reduksi selektif dengan suhu 1100 °C menggunakan reduktor batubara dan aditif Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ..... | 58      |

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran A Hasil Analisis XRD

Lampiran B Hasil Analisis XRF

Lampiran C Perhitungan Recovery

Lampiran D Kartu Konsultasi Tugas Akhir

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Nikel adalah logam *nonferrous* yang penting dan banyak digunakan untuk baja tahan karat dan baja paduan, pelapisan baja, atau katalis dalam proses hidrogenasi industri kimia minyak bumi (Li et al., 2012; Ma, et al, 2016). Sumber daya nikel saat ini termasuk bijih nikel sulfida dan bijih nikel laterit, yang masing-masing menyumbang sekitar 30% dan 70% dari cadangan nikel dunia. Namun, lebih dari 60% produksi nikel berasal dari bijih nikel sulfida (Lv, et al., 2010) karena nikel dalam bijih sulfida dapat dengan mudah diperkaya dan diperoleh kembali dengan flotasi konvensional serta pemisahan magnetik dan gravitasi. Bijih nikel sulfida tingkat tinggi telah dieksploitasi terlebih dahulu dan semakin menipis, maka bijih nikel laterit dengan kadar nikel rendah (Pournaderi et al., 2014) secara bertahap menjadi sumber daya utama untuk produksi nikel (Kim et al., 2010; Pickles dkk., 2013; Pickles, et al, 2014). Bijih laterit nikel dibagi menjadi tiga lapisan, yaitu limonitik, saprolitik, dan garnieritik (Zevgolis et al., 2010; Agacayak, et al, 2016). Sementara, ada dua keuntungan pengembangan yang signifikan untuk bijih laterit nikel yaitu cadangan berlimpah dan endapan terjadi di permukaan sehingga dapat ditambang dari permukaan (Bunjaku, et al., 2012; Pickles and Elliott, 2015). Oleh karena itu, proses pengolahan yang menguntungkan untuk pemanfaatan bijih nikel laterit yang efisien harus sangat diperhatikan dan diteliti secara mendalam (Elliott, et al, 2015; Ma, et al, 2016). Teknologi dalam pengolahan bijih nikel laterit terbagi menjadi 2 proses yaitu pirometalurgi dan hidrometalurgi.

Proses pirometalurgi meliputi beberapa tahapan yaitu pengeringan (*drying*), kalsinasi / reduksi, *electric furnace smelting*, dan pemurnian (*refining / converting*).

Proses pirometalurgi sederhana tetapi padat energi, dan memiliki persyaratan pada bijih nikel laterit yang mengandung nikel tinggi (Ma, et al, 2016). Pada tahapan kalsinasi pada proses pengolahan bijih nikel laterit dapat dikatakan telah berlangsung dengan efektif dan efisien berdasarkan pada nilai kadar unsur dan recovery dari Ni yang diperoleh setelah proses pengolahan, nilai recovery sendiri merupakan presentase dari total logam yang terkandung dalam bijih (ore) yang diperoleh dari konsentrat atau produk (Wills and Napiermun, 2006). Proses kalsinasi ditujukan untuk mereduksi keseluruhan senyawa oksida nikel. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Cao, et al, 2010) proses kalsinasi dengan zat aditif untuk mendapatkan *high nickel grade* dilakukan pada temperatur 1200 ° C selama 40 menit dengan penambahan zat aditif dan reduktor. Material/gas reduktan digunakan untuk mereduksi besi dan nikel oksida menjadi logam ferronikel. Menurut Pan et al (2013), selain melalui penggunaan aditif, proses kalsinasi juga dapat dilakukan dengan membatasi jumlah besi tereduksi melalui pembatasan jumlah reduktan, dimana dari hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kandungan nikel akan semakin berkurang dengan meningkatnya jumlah reduktan. Penambahan reduktor padat, seperti batubara mampu menghasilkan gas reduktor (CO) yang efektif dalam proses reduksi.

Beberapa penelitian terkait penggunaan reduktor batubara dan aditif dalam proses kalsinasi ditujukan meningkatkan keefektifan dan efisiensi dari proses reduksi selektif, diantaranya meningkatkan kadar dan perolehan nikel dalam konsentrat (Bunjaku et al., 2011). Berdasarkan penelitian yang dilakukan Astuti, dkk (2016) lama waktu kalsinasi memengaruhi peningkatan kadar yang terjadi. Sehingga penelitian kali ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu kalsinasi dalam peningkatan kadar bijih saprolit menggunakan batubara dan aditif  $\text{Na}_2\text{CO}_3$



## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh waktu reduksi dalam peningkatan kadar nikel bijih saprolit dengan proses reduksi selektif?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan reduktor batubara pada proses reduksi selektif terhadap kadar Ni yang dihasilkan?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan reduktor batubara dan aditif  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  pada proses reduksi selektif terhadap kadar Ni yang dihasilkan?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi waktu kalsinasi dalam peningkatan kadar nikel bijih saprolit.
2. Menganalisis pengaruh penggunaan reduktor batubara pada proses kalsinasi terhadap kadar Ni yang dihasilkan.
3. Menganalisis pengaruh penggunaan reduktor batubara dan aditif  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  pada proses kalsinasi terhadap kadar Ni yang dihasilkan.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi empiris parameter waktu kalsinasi yang optimal untuk meningkatkan kadar bijih nikel laterit saprolit.

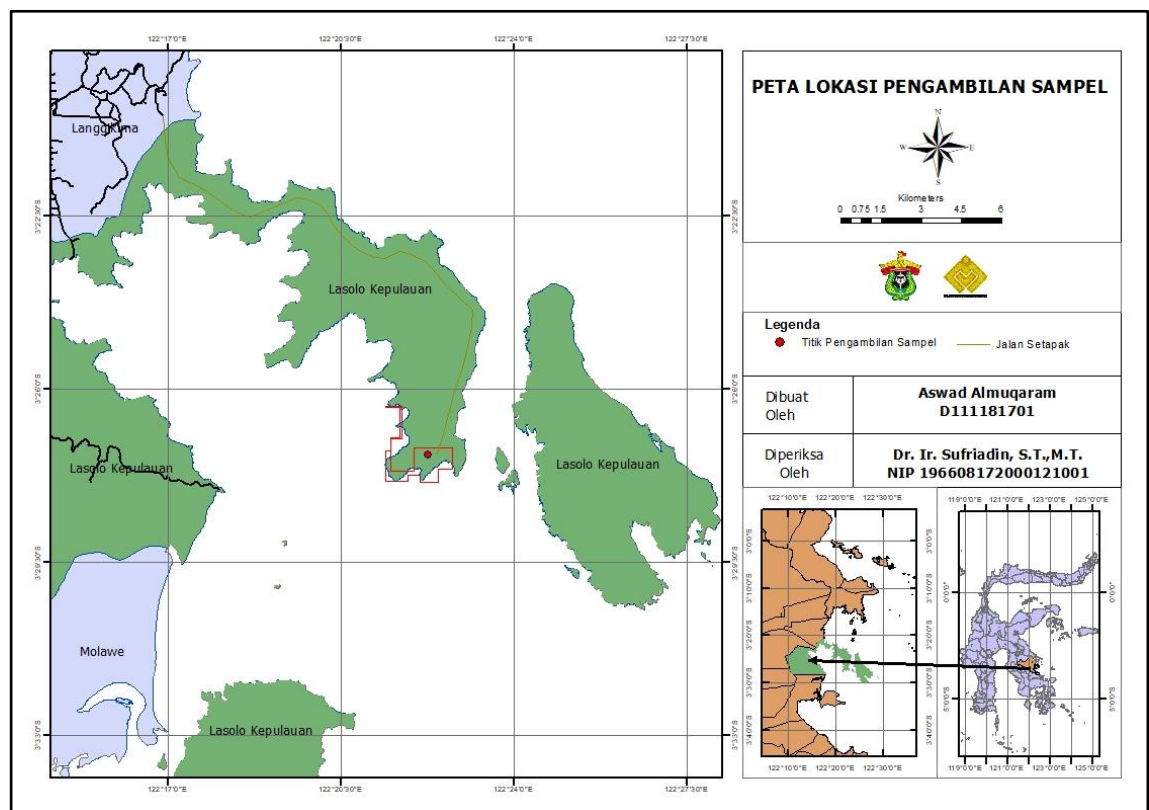
## **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bijih nikel laterit yang digunakan dalam penelitian ini yaitu bijih nikel laterit zona saprolit.
2. Suhu yang digunakan dalam proses pelindian yaitu: 1100°C.
3. Waktu yang digunakan dalam proses kalsinasi yaitu: 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit
4. Proses kalsinasi dilakukan dengan menggunakan reduktor batubara sebesar 10% dan aditif Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> sebesar 10%

## 1.6 Lokasi dan Kesampaian Daerah Penelitian

Lokasi pengambilan sampel bijih saprolit yang digunakan dalam penelitian berasal dari Desa Boedingi, Kecamatan Lasolo Kepulauan, Kabupaten Konawe Utara, Sulawesi Tenggara. Peta lokasi pengambilan sampel dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Peta Lokasi Pengambilan sampel

Perjalanan dari Makassar menuju lokasi penelitian ditempuh menggunakan transportasi udara melalui Bandara Sultan Hasanuddin Makassar dengan waktu tempuh 50 menit untuk sampai di Bandara Sangia Nibandera Tanggetada Kolaka. Kemudian, dari Bandara Sangia Nibandera Tanggetada Kolaka ke lokasi penelitian ditempuh menggunakan kendaraan roda empat dalam waktu 5 jam.

## **1.7 Tahapan Penelitian**

Penelitian ini dilakukan selama  $\pm$  4 bulan mulai dari bulan Juli 2022 sampai dengan bulan Oktober 2022. Adapun tahapan kegiatan penelitian yang dilaksanakan sebagai berikut:

### **1. Persiapan**

Tahapan persiapan berisi kegiatan pendahuluan sebelum dilakukan penelitian. Tahapan ini terdiri dari perumusan masalah yang akan diangkat dalam kegiatan penelitian, pengumpulan referensi atau literatur mengenai masalah yang diteliti agar dapat menunjang penelitian, serta persiapan bahan-bahan dan alat-alat yang digunakan pada saat penelitian.

### **2. Studi Literatur**

Tahapan yang dilakukan sebelum dan selama dilakukannya penelitian ini. Tahapan ini melakukan kajian kepustakaan untuk menunjang dan memahami topik yang akan diteliti dan sebagai petunjuk dalam menentukan rancangan penelitian serta persiapan yang menyangkut segala sesuatu yang dibutuhkan dalam proses penyusunan tugas akhir. Tahapan studi literatur yang dilakukan dapat melalui jurnal, buku, artikel dan referensi lainnya yang berkaitan dengan masalah yang akan dikaji pada penelitian.

### 3. Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel penelitian bijih nikel laterit pada lapisan saprolit diambil di PT Natural Persada Mandiri yang berlokasi di Desa Boedingi, Kecamatan Lasolo Kepulauan, Kabupaten Konawe Utara, Sulawesi Tenggara. Pengambilan sampel diambil menggunakan palu geologi dengan menggunakan metode *channel sampling*.

### 4. Penelitian di Laboratorium

Tahapan ini meliputi preparasi sampel, kalsinasi sampel, karakterisasi awal maupun karakterisasi setelah dilakukan kalsinasi pada sampel. Preparasi sampel adalah kegiatan mempersiapkan sampel sebelum dilakukan analisis lebih lanjut, preparasi sampel dilakukan dengan cara mereduksi ukuran butir sampel hingga ukuran 200 mesh. Proses kalsinasi sampel dilakukan dengan menggunakan alat *furnace* dengan suhu 1100 °C. Karakterisasi mineralogi bijih dilakukan dengan analisis XRD dan analisis mikroskopis, sedangkan karakterisasi kimia bijih dilakukan dengan analisis XRF. Analisis XRD digunakan untuk mengkarakterisasi sampel awal dan sampel residu dari hasil setelah dilakukan kalsinasi, analisis XRD ini bertujuan untuk mengetahui kandungan mineral yang terkandung dalam sampel. Analisis mikroskopis digunakan untuk mengamati mineral yang ada pada bijih nikel laterit di bawah mikroskop. Analisis XRF digunakan untuk mengetahui kandungan kimia bijih yaitu MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, Ni, Co, Fe, dan Cr (%).

### 5. Pengolahan dan Interpretasi Data

Pengolahan data merupakan tahapan mengumpulkan data-data hasil analisis dan mengolah data-data yang telah didapatkan dari karakterisasi bijih dan hasil dari proses kalsinasi bijih nikel laterit yang dilakukan menggunakan reduktor batubara dan aditif Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> sehingga didapatkan ekstraksi Ni, dan Fe. Hasil

analisis XRD diolah menggunakan *Match 3* dan *Microsoft Excel*, hasil analisis mikroskopis diolah menggunakan *Microsoft Word*, hasil analisis XRF diolah menggunakan *Microsoft Excel*.

6. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

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

7. Seminar dan Penyerahan Laporan

Laporan tugas akhir akan dipresentasikan pada seminar hasil dan ujian sidang. Tahapan ini dimaksudkan untuk memaparkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, melalui tahapan ini akan didapatkan saran untuk menyempurnakan laporan tugas akhir dari tim penguji, pembimbing dan peserta seminar. Laporan tugas akhir yang telah direvisi diserahkan ke Departemen Teknik Pertambangan.

## **BAB II**

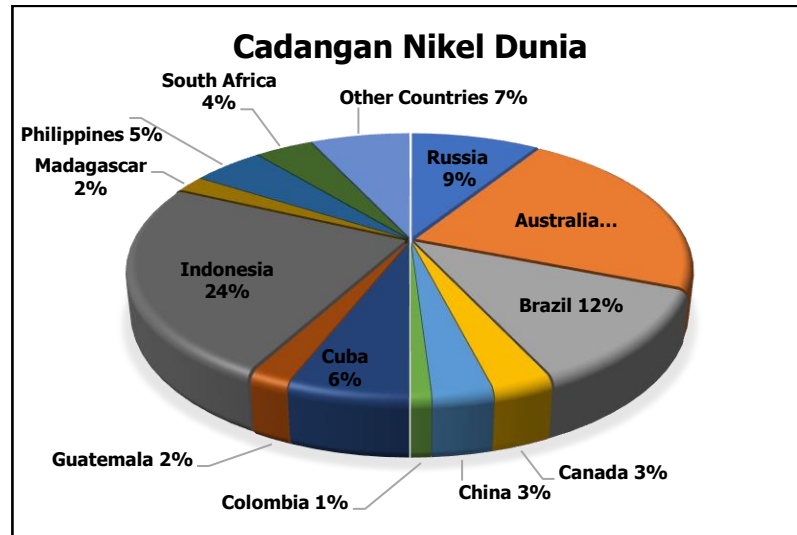
### **KALSINASI BIJIH SAPROLIT**

#### **2.1 Nikel Laterit**

Deposit nikel di dunia dapat diklasifikasikan dalam dua kelompok, yaitu bijih sulfida dan bijih laterit (oksida dan silikat). Sebanyak 72% cadangan nikel dunia merupakan nikel laterit dan baru 42% dari cadangan tersebut yang diproduksi. Meskipun 72% dari tambang nikel berbasis bijih laterit, 60% dari produksi primer nikel berasal dari bijih sulfida. Bijih nikel laterit banyak ditemukan di belahan bumi yang memiliki iklim tropis atau subtropis yang terdiri dari hasil pelapukan pada batuan ultramafik yang mengakibatkan pengkayaan unsur Ni, Fe, Co, dan Mn secara residual dan sekunder (Yildirim dkk., 2012).

Nikel sulfida dan nikel laterit telah banyak digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan logam nikel. Namun seiring dengan perkembangan waktu cadangan bijih nikel sulfida mulai menipis sehingga industri yang memproduksi nikel mengalihkan perhatiannya untuk mengolah bijih nikel laterit sebagai bahan baku nikel. Pengolahan bijih nikel laterit dalam peningkatan kadarnya lebih sulit dibandingkan dengan bijih nikel sulfida, sehingga telah banyak penelitian yang berupaya untuk melakukan peningkatan kadar pada bijih nikel laterit (Setiawan, 2016).

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki endapan bijih nikel laterit dalam jumlah yang cukup besar. Endapan nikel laterit Indonesia tersebar di beberapa daerah seperti di Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Maluku, dan Papua (Setiawan, 2016). Potensi deposit bijih nikel Indonesia mencapai 2,1 milyar ton atau sekitar 24% dari total sumber daya nikel di dunia. Distribusi cadangan nikel dunia dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Distribusi Cadangan Nikel Dunia (Mcrae, 2019)

Gambar 2.1 menunjukkan bahwa negara-negara yang memiliki cadangan bijih nikel laterit yang besar adalah Indonesia, Australia, dan Brazil. Dari data tersebut, Indonesia sebagai pemilik cadangan nikel laterit terbesar seharusnya dapat menjadi produsen material yang berbahan baku nikel seperti baja tahan karat dan baja paduan nikel lainnya (Mcrae, 2019).

Persebaran endapan nikel dunia didominasi oleh negara-negara di sekitar equator (Gambar 2.2). Persebaran endapan nikel di benua eropa didominasi oleh endapan nikel sulfida. Persebaran endapan nikel di benua afrika didominasi oleh endapan nikel sulfida. Persebaran endapan nikel di benua asia didominasi oleh endapan nikel laterit tepatnya di Negara Indonesia dan Philipina. Persebaran endapan nikel di benua amerika didominasi oleh endapan nikel laterit. Persebaran endapan nikel di benua australia dan oceania didominasi oleh endapan nikel laterit.

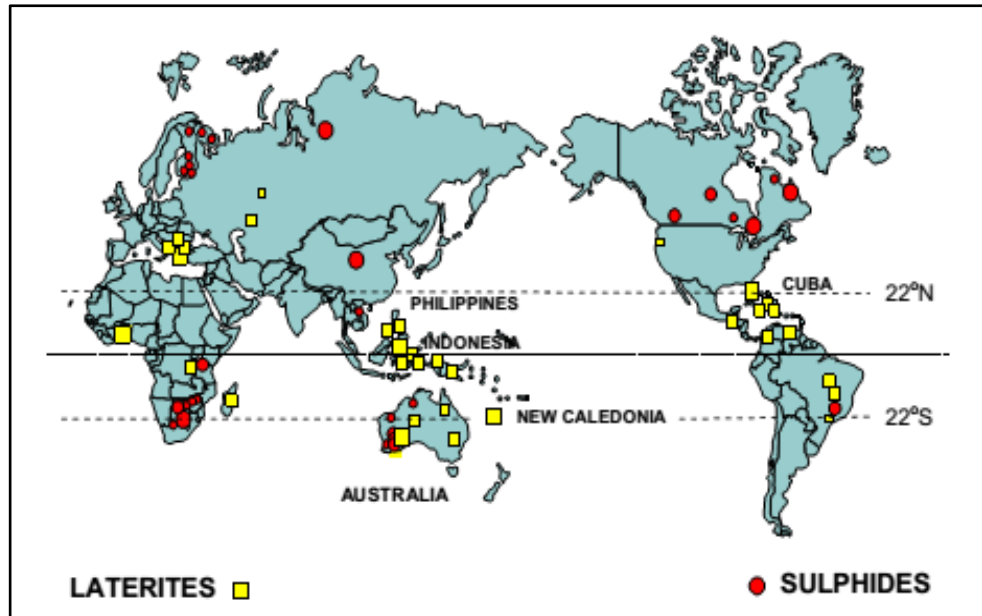
Bijih nikel laterit biasanya terdapat di daerah tropis atau sub-tropis yang terdiri dari pelapukan batuan ultramafik yang mengandung zat besi dan magnesium dalam tingkat tinggi. Deposit tersebut biasanya menunjukkan lapisan yang berbeda karena kondisi cuaca. Lapisan pertama adalah lapisan yang kaya silika dan yang kedua adalah lapisan limonit didominasi oleh gutit  $[\text{FeO}(\text{OH})]$  dan hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Lapisan

berikutnya adalah saprolit  $[(Ni,Mg)SiO_3 \cdot nH_2O]$  yaitu lapisan yang kaya magnesium dan elemen basal. Antara lapisan saprolit dan limonit biasanya ada lapisan transisi yang kaya magnesium (10-20% Mg) dengan besi yang disebut serpentine  $[Mg_3Si_2O_5(OH)]$ . Untuk deposit laterit yang ideal, lapisan limonit sangat tidak cocok untuk ditingkatkan kadarnya, sedangkan peningkatan kadar untuk saprolit juga terbatas untuk peningkatan konsentrasi nikel (Astuti, dkk, 2012). Kedalaman profil bijih laterit biasanya berada pada kedalaman 6 sampai 15 meter dari permukaan (Connah, 1960). Di beberapa tempat, kedalaman profilnya bisa mencapai kedalaman hingga 60 meter di bawah permukaan. Kebutuhan bijih laterit semakin meningkat dengan adanya kenaikan harga nikel dan penurunan cadangan bijih sulfida (Astuti, dkk, 2012). Hal inilah yang mendorong semakin banyaknya penelitian dan pengembangan pada proses pengolahan bijih nikel laterit sebagai solusi dari penurunan cadangan bijih nikel sulfida. Pada dasarnya ada beberapa alasan yang menjadikan nikel laterit akan mendominasi produksi nikel dimasa yang akan datang, antara lain :

1. Ketersediaan : Cadangan nikel dunia yaitu 72% berupa sulfida dan 28% berupa laterit. Jumlah bijih laterit lebih banyak dari pada bijih sulfida (Dalvi, et al, 2004)
2. Biaya Penambangan : Karena bijih sulfida terletak pada hard rock, sebagai eksplorasi lebih lanjut cadangan sulfida akan didapatkan pada bagian yang lebih dalam yang menyebabkan biaya penambangan lebih tinggi. Sedangkan penambangan bijih laterit membutuhkan lebih sedikit biaya dikarenakan posisi bijih laterit berada dilapisan atas.
3. Efek terhadap lingkungan : Produksi nikel dari bijih sulfida menimbulkan masalah pada lingkungan yaitu terciptanya emisi sulfur oksida. Sedangkan produksi nikel berbasis bijih laterit memiliki masalah lingkungan lebih sedikit.



4. Produksi nikel berbasis laterit lebih menguntungkan melalui pengurangan biaya produksi dan peningkatan pendapatan oleh produk. Sehingga membuat produksi nikel berbasis laterit lebih ekonomis dan kompetitif (Li, 1999).



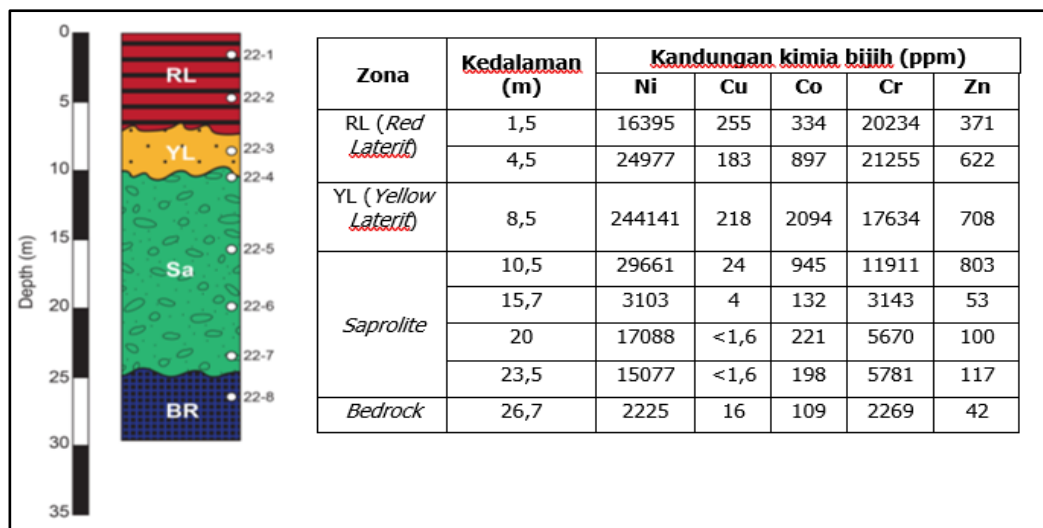
Gambar 2. 2 Persebaran endapan nikel di dunia (Elias, 2002)

## 2.2 Genesis Endapan Nikel Laterit

Tingkat pelapukan yang tinggi sangat berperan dalam proses lateritisasi. Proses yang disebut sebagai lateritisasi pada dasarnya adalah pelapukan kimia yang terjadi di iklim basah dalam jangka waktu yang lama dan dalam kondisi tektonik yang relatif stabil, memungkinkan pembentukan regolith tebal dengan karakteristik khas. Nikel laterit terbentuk di bumi yang telah mengalami pelapukan yang lama dari batuan ultramafik yang mengandung mineral ferro-magnesian (olivin, piroksin, dan amfibol) dipengaruhi oleh berbagai kondisi geologi (Dalvi *et al.*, 2014). Proses terbentuknya nikel laterit dimulai dari proses pelapukan yang intensif pada batuan peridotit, selanjutnya infiltrasi air hujan masuk ke dalam zona retakan batuan dan akan melarutkan mineral yang mudah larut pada batuan dasar. Mineral dengan berat jenis

tinggi akan tertinggal di permukaan sehingga mengalami pengkayaan residu seperti unsur Ca, Mg, dan Si. Mineral lain yang bersifat *mobile* akan terlarutkan ke bawah dan membentuk suatu zona akumulasi dengan pengkayaan supergen seperti Ni, Mn, dan Co.

Pembentukan dan distribusi laterit Ni tergantung pada pengaruh gabungan beberapa faktor. Tidak ada faktor tunggal yang mendominasi pembentukan nikel laterit, tetapi, dikombinasikan dalam sistem yang dinamis, masing-masing dapat bertindak sebagai pengaruh utama pada proses pembentukan, pada akhirnya akan mengendalikan karakteristik khas dari tiap endapan nikel laterit. Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan nikel laterit di satu wilayah mungkin kurang signifikan di tempat lain (Brand *et al.*, 1998). Profil endapan nikel laterit dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Profil endapan nikel laterit pada penambangan Pomala (Ito, et al, 2021)

Endapan nikel laterit jika dilihat secara vertikal maka akan terdapat beberapa komponen utama yaitu (Hernandi dkk, 2017):

a. *Red* Limonit

*Red* limonit merupakan material lapisan berukuran lempung, berwarna coklat kemerahan, dan biasanya terdapat juga sisa-sisa tumbuhan. lapisan dengan

konsentrasi besi yang cukup tinggi (*ferruginous duricrust*) dan kandungan nikel yang rendah, atau merupakan laterit residu yang dapat terbentuk pada bagian atas dari profil dan melindungi lapisan endapan nikel laterit dibawahnya.

b. Zona *Yellow* Limonit

Zona *yellow* limonit yaitu lapisan yang berada diatas lapisan saprolit yang merupakan pelapukan sempurna dari *hostrock* dengan ketebalan 0,5 - 10 m Secara mineralogi lapisan ini didominasi oleh *goethite* pada bagian atas dan *hematite* pada lapisan limonit yang sudah tua Zona Saprolit

Zona saprolit yaitu lapisan di atas batuan dasar dengan bentuk permukaan yang cenderung datar (Schellmann, 1989; Fu *et al.*, 2014). Lapisan ini memiliki ketebalan 1 - 6 m dengan warna coklat kemerahan sampai kehijauan, kuning keabuan, coklat kekuningan, dan hijau keabuan (Fu *et al.*, 2014). Zona saprolit terdiri dari campuran tanah dan batu (Fu *et al.*, 2014). Pada zona ini ditemukan batuan dasar yang terlaterisasi, namun masih dapat ditemukan mineral, struktur, dan tekstur dari *bedrock*-nya (Golightly, 1979).

c. Zona Batuan Dasar (*Bedrock*)

Zona batuan dasar atau *bedrock* berada pada bagian bawah profil, merupakan batuan ultramafik yang belum mengalami proses pelapukan. Komposisi kimia batuan memiliki kemiripan terhadap komposisi kimia *bedrock* yang tidak teralterasikan. Terdapat struktur *joints* dan *fracture* terjadi seiring terjadinya tekanan *hydrostatic* pada batuan. Sementara sirkulasi air permukaan meresep melalui *joints* dan *fracture*.

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi pembentukan nikel laterit adalah sebagai berikut (Kusuma, 2012):

a) Batuan asal

Adanya batuan asal merupakan syarat utama untuk terbentuknya endapan nikel laterit, macam batuan asalnya adalah batuan ultrabasa. Dalam hal ini pada batuan ultrabasa tersebut terdapat elemen Ni yang paling banyak di antara batuan lainnya, mempunyai mineral-mineral yang paling mudah lapuk atau tidak stabil seperti olivin dan piroksin, mempunyai komponen-komponen yang mudah larut dan memberikan lingkungan pengendapan yang baik untuk nikel.

b) Iklim

Adanya pergantian musim kemarau dan musim penghujan dimana terjadi kenaikan dan penurunan permukaan air tanah juga dapat menyebabkan terjadinya proses pemisahan dan akumulasi unsur-unsur. Perbedaan temperatur yang cukup besar akan membantu terjadinya pelapukan mekanis, dimana akan terjadi rekahan-rekahan dalam batuan yang akan mempermudah proses atau reaksi kimia pada batuan.

c) Reagen-reagen kimia dan vegetasi

Reagen-reagen kimia yang dimaksud adalah unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang membantu mempercepat proses pelapukan. Air tanah yang mengandung CO<sub>2</sub> memegang peranan penting di dalam proses pelapukan kimia. Asam-asam humus menyebabkan dekomposisi batuan dan dapat mengubah pH larutan. Asam-asam humus ini erat kaitannya dengan vegetasi daerah.

d) Struktur

Batuan beku mempunyai porositas dan permeabilitas yang kecil sekali sehingga penetrasi air sangat sulit, maka dengan adanya rekahan-rekahan tersebut akan lebih memudahkan masuknya air dan berarti proses pelapukan akan lebih intensif.

e) Topografi

Keadaan topografi setempat akan sangat memengaruhi sirkulasi air beserta reagen-reagen lain. Untuk daerah yang landai, maka air akan bergerak perlahan-lahan sehingga akan mempunyai kesempatan untuk mengadakan penetrasi lebih dalam melalui rekahan-rekahan atau pori-pori batuan. Akumulasi endapan umumnya terdapat pada daerah-daerah yang landai sampai kemiringan sedang, hal ini menerangkan bahwa ketebalan pelapukan mengikuti bentuk topografi. Pada daerah yang curam, secara teoritis, jumlah air yang meluncur (*run off*) lebih banyak daripada air yang meresap ini dapat menyebabkan pelapukan kurang intensif.

f) Waktu

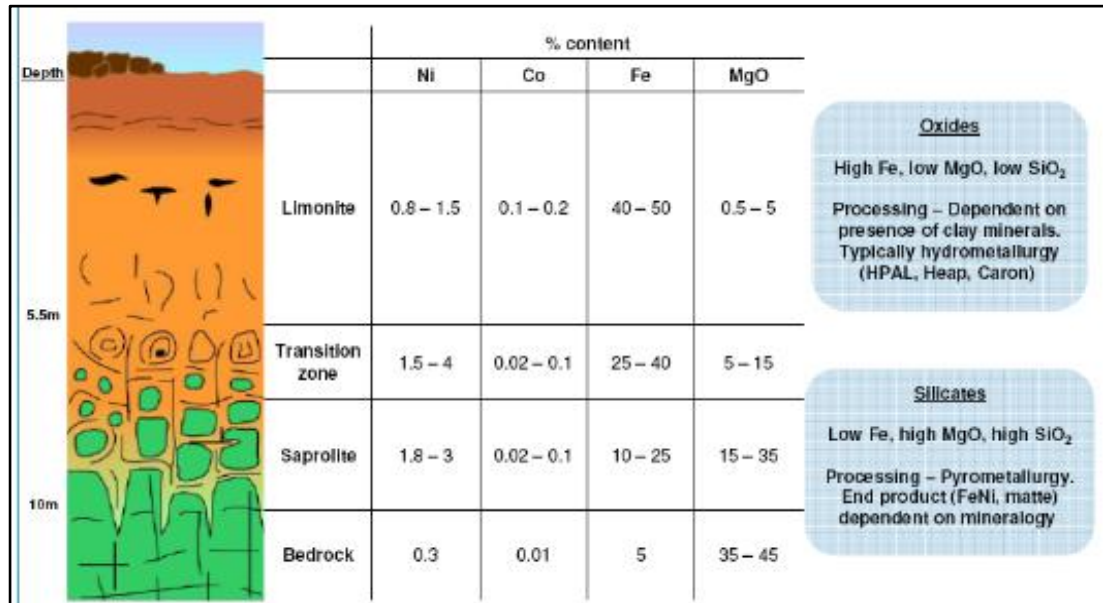
Waktu juga berpengaruh dalam pembentukan nikel laterit. Waktu yang cukup lama akan mengakibatkan pelapukan yang cukup intensif karena akumulasi unsur nikel cukup tinggi.

### **2.3 Pengolahan Bijih Nikel Laterit**

Endapan nikel laterit di Indonesia untuk zona saprolit lebih tebal dari pada zona limonit, hal ini berdasarkan pengalaman dari hasil eksplorasi di Sulawesi Tenggara. Sedangkan di Maluku Utara sebaliknya, endapan zona limonit lebih tebal dari pada endapan zona saprolit. Pada umumnya, untuk mengolah nikel laterit digunakan jalur proses hidrometalurgi untuk laterit kadar rendah (limonit), dan jalur proses pirometalurgi untuk laterit kadar tinggi (saprolit) (Prasetyo, dkk, 2011). Jalur proses pengolahan nikel laterit berdasarkan zona lapisannya dapat dilihat pada Gambar 2.4.

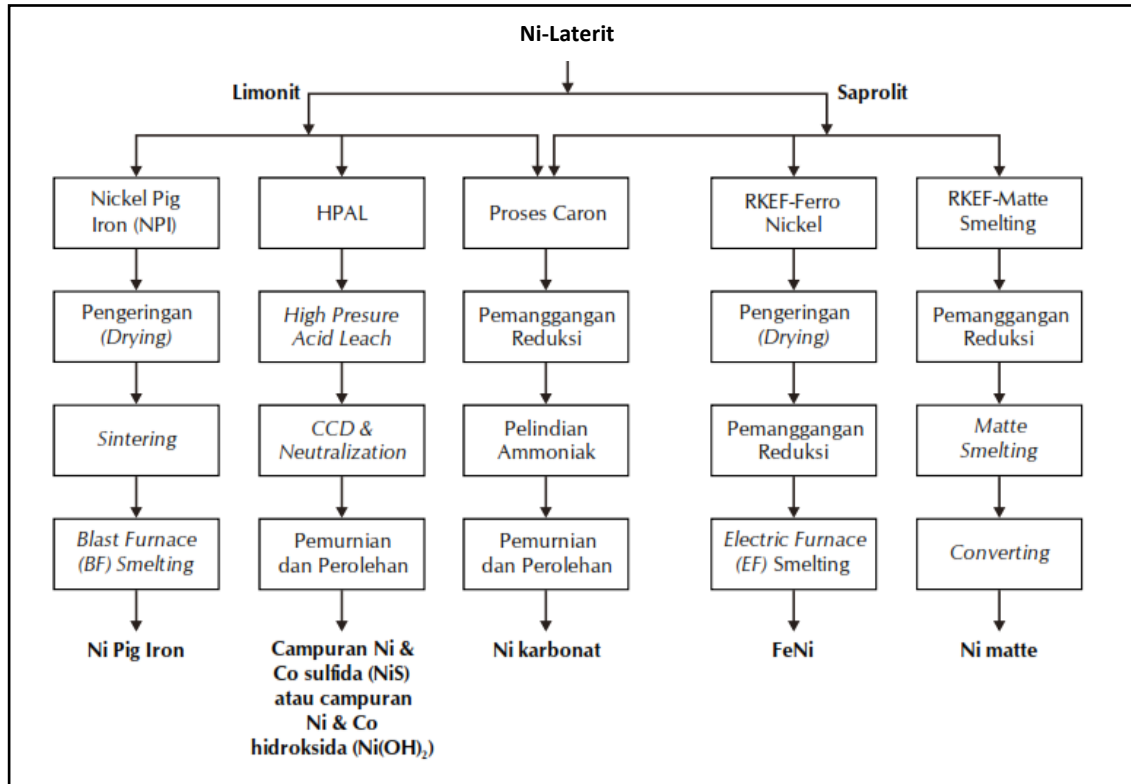
Pengolahan bijih nikel berkadar tinggi diproses melalui proses temperatur tinggi (pirometalurgi), sedangkan ekstraksi nikel dari bijih nikel laterit berkadar rendah umumnya dilakukan dengan cara hidrometalurgi, karena bila diolah dengan proses

pirometalurgi, dinilai tidak ekonomis dan nikel yang dihasilkan memiliki grade yang rendah (Solihin, dkk, 2014).



Gambar 2. 4 Opsi proses pengolahan bijih nikel laterit berdasarkan tipe bijih

Pemilihan proses yang akan digunakan ini ditentukan oleh kandungan pada bijih, peningkatan kandungan yang terbatas, teknologi pengolahan yang kompleks, kondisi geografis, serta memperhatikan kebutuhan infrastruktur seperti pembangkit listrik, pelabuhan, dan fasilitas pengolahan slag . Proses pengolahan secara pirometalurgi pada umumnya hanya dapat menghasilkan nikel dengan kadar 1,50%, sedangkan rata-rata kadar nikel laterit dunia sekitar 1,45% sehingga pengolahan pirometalurgi secara konvensional menjadi tidak efektif (Mayangsari dan Prasetyo, 2016). Proses pengolahan laterit secara hidrometalurgi dengan ammonia leaching atau HPL (high pressure leaching) dengan asam sulfat pada awalnya dianggap efektif dalam peningkatan kadar Ni. Namun setelah diteliti lebih jauh, proses leaching dapat menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan serta dapat meningkatkan biaya produksi (Mayangsari dan Prasetyo, 2016). Diagram pengolahan nikel laterit diperlihatkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Diagram alir proses pengolahan bijih nikel laterit (Rodrigues, 2013)

### 2.3.1 Pirometalurgi

Metode ekstraksi pirometalurgi melibatkan beberapa proses seperti: *roasting*, pengurangan karbothermik, reduksi bijih sulfida, dan reduksi *metallothermic*. Pemilihan proses yang akan digunakan terutama tergantung pada komposisi bijih atau konsentrat dan termodinamika, kinetik, dan kendala lingkungan yang terkait dengan setiap proses. Produksi feronikel dari bijih laterit memerlukan energi tinggi, karena bijih laterit atau bijih pra-reduksi umumnya langsung dilebur untuk menghasilkan sejumlah kecil produk feronikel dan sejumlah besar *slag* serta FeNi *smelter* yang biasa beroperasi pada suhu sekitar 1350-1400°C (Setiawan, 2016).

Kelebihan dari metode ekstraksi pirometalurgi yaitu: prosesnya sederhana dan terbukti dengan baik, dapat menangani bijih magnesium tinggi (yang umumnya mengandung konsentrasi nikel tinggi), pemulihan nikel tinggi (90%), residu berbentuk granular dan mudah dibuang, serta reagen umumnya tidak mahal dan tersedia (Kyle, 2010). Kekurangan dari metode ekstraksi pirometalurgi yaitu: biaya modal tinggi,

penggunaan energi tinggi dan ekonomi proyek sangat sensitif terhadap biaya listrik, hanya dapat menangani bijih magnesium tinggi - pencampuran yang diperlukan untuk menjaga rasio  $\text{SiO}_2 / \text{MgO}$ , serta kobal tidak ditemukan sebagai produk terpisah (Kyle, 2010). Beberapa proses pirometalurgi yang biasanya dilakukan :

1. Rotary kiln electric furnace (RKEF)

Proses RKEF banyak digunakan untuk menghasilkan feronikel dan nikel-matte. Proses ini diawali dengan pengeringan kandungan moisture hingga 45% melalui proses pretreatment. Pada proses tersebut, bijih laterit dikeringkan dengan rotary dryer pada temperatur  $250^\circ\text{C}$  hingga kandungan moisturennya mencapai 15-20%. Produk dari rotary dryer selanjutnya masuk ke-tahap kalsinasi (prereduksi) menggunakan rotary kiln pada suhu  $800-900^\circ\text{C}$ . Reduksi yang berlangsung di rotary kiln meliputi proses evaporasi dari air, disosiasi dari mineral-mineral pada temperatur  $700^\circ\text{C}$  menjadi oksida-oksida dan uap air, reduksi dari nikel oksida dan besi oksida gas reduktor pada temperatur sekitar  $800^\circ\text{C}$ . Hasil proses kalsinasi kemudian dilebur di dalam electric furnace pada temperatur  $1500-1600^\circ\text{C}$  menghasilkan feronikel. Pada electric furnace terjadi pemisahan feronikel dari terak silika-magnesia, terjadi Reduksi nikel oksida dan besi oksida kalsin menjadi nikel logam, dan pelelehan dan pelarutan nikel dalam feronikel. Proses ini yang paling umum digunakan dalam industri pirometalurgi nikel saat ini karena tahapan proses dianggap lebih sederhana dan dapat diaplikasikan terhadap bijih dari berbagai lokasi. Walaupun pada kenyataannya konsumsi energi sangat tinggi dan hanya lebih rendah dari proses Caron (Setiawan, 2014).

2. The Caron

Proses Bahan umpan yang digunakan adalah laterite jenis limonit. Ada 4 langkah utama dalam proses ini yaitu Pengeringan bijih dan grinding, reduction



roasting, leaching dengan menggunakan larutan ammonium carbonate, dan metal recovery. Pada proses ini Reduction roasting merupakan proses yang sangat penting. Temperatur reduksi harus dikontrol dengan baik agar mendapatkan recovery nikel dan cobalt secara maksimal. Kalsinasi dilakukan pada temperature 850° . Selanjutnya hasil kalsinasi akan melalui proses amonia leaching pada temperatur sekitar 150 - 200°C. Caron Process dapat me-recover 70–80% nikel dan hanya 40–50% kobalt. Proses ini lebih cocok digunakan untuk bijih laterit jenis limonit. Ketika proses ini untuk bijih serpentin atau bijih laterit yang mengandung besi dengan kadar rendah serta magnesium dengan kadar yang tinggi, maka recovery nikel akan menurun secara signifikan. Hal ini dikarenakan magnesium lebih dominan untuk bereaksi dengan silica dan NiO, sehingga membuat sebagian besar NiO tidak tereduksi ketika proses reduksi roasting. Selain Caron Process masih terdapat beberapa proses hidrometalurgi yang digunakan dalam pengolahan nikel laterite yakni HPAL ( high pressure acid leaching), AL(Atmospheric leaching), HL (Heap Leaching), Bioleaching dan beberapa kombinasinya.

### 2.3.2 Hidrometalurgi

Hidrometalurgi merupakan proses pengolahan atau ekstraksi logam berharga dari bijih menggunakan media cair atau larutan pada kondisi atmosferik atau bertekanan. Proses hidrometalurgi dapat menjawab tantangan dalam pemanfaatan bijih nikel laterit berkadar rendah seperti limonit. Dalam proses hidrometalurgi, ada tiga metode yang biasanya digunakan yaitu *atmospheric leaching*, *heap leaching* dan *high pressure acid leaching* (HPAL) (Arif, 2018).

#### 1. *Atmospheric Leaching* (AL)

*Atmospheric leaching* (AL) adalah proses mengekstraksi suatu bahan yang dapat larut dari suatu padatan dengan menggunakan pelarut pada tekanan atmosfer.

Proses kimia dari AL dengan pencucian asam bersuhu rendah umumnya dibawah 100°C dan tekanan rendah diprediksi dapat dikembangkan dimasa depan. *Atmospheric leaching* pada suhu yang lebih rendah dan kondisinya pada tekanan atmosfer menghindari kebutuhan *autoclave* pada HPAL yang mahal. Namun, ada dua masalah utama pada penggunaan *atmospheric leaching* yaitu kinetika ekstraksi nikel yang lambat dan kemudahan dalam memisahkan logam pada proses selanjutnya misalnya, ekstraksi nikel dengan metode *atmospheric leaching* cenderung mengandung konsentrasi yang signifikan dari besi dan aluminium yang larut (McDonald and Whittington, 2008).

Dalam rangka peningkatan perolehan logam nikel dan kobal dari proses *atmospheric leaching*, serta peningkatan selektivitas pelindian terhadap besi dan aluminium, dilakukan beberapa penelitian sebagai berikut (Arif, 2018):

a. Optimasi Temperatur dan Waktu Pelindian

Secara umum, peningkatan temperatur berhasil meningkatkan kinetika reaksi pelindian. Dari beberapa hasil-hasil penelitian menunjukkan persentase reaksi maksimum diperoleh pada temperatur sekitar 95°C. Namun, peningkatan persen ekstraksi nikel dengan peningkatan temperatur tidak lagi signifikan pada setiap variasi waktu pelindian. Sehingga, pemilihan temperatur dan lamanya waktu pelindian harus dioptimalkan untuk memperoleh persen ekstraksi nikel yang tinggi dengan biaya yang relatif lebih kecil.

b. Penambahan *Complexing Agents*

Penambahan *complexing agents* salah satunya yaitu dilakukan dengan penambahan garam-garam klorida dan sulfat (NaCl dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) yang dapat meningkatkan perolehan persen ekstraksi nikel dan menurunkan konsentrasi asam, selain itu penambahan garam klorida ke dalam bijih limonit dapat

menurunkan persen besi yang terlarut yang dapat membentuk kompleks besi klorida dan melepaskan sulfat.

c. Sulfatisasi Bijih

Proses sulfatisasi bijih dilakukan dengan mencampur bijih dan asam sulfat pekat yang diikuti dengan pemanggangan campuran tersebut pada suhu  $500^{\circ}\text{C}$  -  $725^{\circ}\text{C}$  untuk mengonversi *jerric sulphate* menjadi hematit. Konsentrasi asam sulfat untuk sulfatisasi bergantung pada komposisi bijih, khususnya kandungan besi dan magnesium. Proses sulfatisasi bijih ini diharapkan dapat mengurangi konsumsi asam, sebab besi telah dikonversi terlebih dahulu menjadi bentuk yang tidak larut dalam proses pelindian. Contoh penggunaan sulfatisasi yaitu dilakukan pada proses hidrometalurgi FeNix di Guatemala.

d. Pelindian Bertahap

Pada prosesnya, pelindian tahap pertama dilindi menggunakan konsentrasi asam yang tinggi. Proses pelindiannya dilakukan beberapa tahap dengan penggunaan asam yang konsentrasinya bergantung pada kandungan nikel dan besi dalam residu pelindian tahap sebelumnya. Sehingga, selektivitas pelindian terhadap besi dapat meningkat dan menurunkan konsumsi asam.

2. *High Pressure Acid Leaching* (HPAL)

Proses HPAL merupakan proses ekstraksi yang awalnya dikembangkan oleh Sheritt Gordon Canada untuk mengolah limonit murni yang jumlahnya berlimpah di Pinares de Mayari Cuba. HPAL merupakan proses metode ekstraksi hidrometalurgi yang sudah dapat digunakan secara komersial. Biaya pembangunan HPAL dan proses caron sama-sama mahal tapi memiliki tingkat perolehan yang berbeda dimana HPAL memiliki perolehan nikel ( $\text{Ni} > 90\%$ ) dan kobal ( $\text{Co} > 90\%$ ) sedangkan proses caron memiliki perolehan nikel ( $\text{Ni}: 70\% - 80\%$ )

dan kobal (Co±50%) (Prasetyo dan Ronald, 2011). Teknologi HPAL dapat mengolah bijih nikel laterit kadar rendah, selain itu teknologi HPAL dapat mengolah bijih dengan berbagai kandungan mineral yang terkandung dalam bijih laterit dengan berbagai macam mineral yang beragam. Namun, HPAL memerlukan energi tambahan untuk pemanasan material bijih jika pemanasan memanfaatkan uap dari *autoclave* tidak memadai. Disisi lain, penggunaan asam dapat menyebabkan korosi pada mesin dan pabrik.

### 3. *Heap Leaching*

*Heap leaching* adalah proses yang biasanya digunakan untuk mengolah tembaga, emas, uranium dan digunakan dalam berbagai tingkatan oleh perusahaan seperti Glencore (Minara), Vale, BHPB dan Xstrata untuk megolah nikel laterit. Proses *heap leaching* berpotensi menjadi proses pengolahan nikel laterit dengan modal terendah dan paling ramah lingkungan (Oxley and Barcza, 2013). Pada proses *heap leaching*, bijih ditumpuk di atas lapisan yang tak tembus seperti plastik atau aspal dan disemprot dengan larutan asam dari atas. Asam akan masuk ke dalam tumpukan (*heap*) dan melindi logam-logam yang terkandung dalam bijih, sehingga terbentuk larutan yang kaya akan logam. Larutan yang kaya akan logam tersebut, dikumpulkan pada bagian bawah tumpukan bijih selanjutnya dipompa dan diproses lebih lanjut secara kimiawi (Arif, 2018). Proses pelindian menggunakan asam, bergantung pada permeabilitas tumpukan bijih. Jika permeabilitasnya sangat kecil, larutan asam tidak dapat meresap ke dalam yang mengakibatkan pelindian tidak dapat terjadi. Untuk menghindari hal tersebut, umumnya bijih terlebih dahulu diaglomerasi. Proses aglomerasi yaitu mengubah bijih menjadi berbentuk *pellet* kemudian ditambahkan asam dan air. Proses pelindian dilakukan pada suhu kamar dan berlangsung selama berbulan-bulan yaitu sekitar 3 – 12 bulan. Proses *heap leaching* tidak memerlukan proses

pemisahan padatan seperti pada proses PAL dan AL. perolehan dari proses *heap leaching* ini tidak sebesar perolehan pada proses HPAL dan AL, sebab perolehan dan selektivitas proses ini terhadap besi sangat bergantung pada tipe bijih, khususnya komposisi mineral yang terkandung dalam bijih (Arif, 2018).

#### 4. *Enhanced Pressure Acid Leaching* (EPAL)

*Enhanced pressure acid leaching* (EPAL) merupakan proses kombinasi antara PAL dan AL yang bertujuan untuk menurunkan *capital expenditure* (CAPEX) dengan mengurangi jumlah *autoclave* dan menurunkan total konsumsi asam dalam pelindian yang merupakan contributor utama biaya operasi. Penurunan konsumsi asam dilakukan dengan mereaksikan *liquor* hasil pelindian dalam PAL dan sejumlah bijih saprolit. Proses ini biasa membutuhkan jumlah saprolit yang lebih banyak dibandingkan HPAL konvensional (Arif, 2018). Dibandingkan dengan proses HPAL dan AL, proses EPAL memiliki konsentrasi asam sisa (*residual acid*) yang paling rendah. Dalam hal ini, EPAL memiliki dampak lingkungan yang lebih ramah lingkungan daripada AL. Namun ditinjau dari sisi pengoperasian dan pemeliharaan masih perlu menjadi kajian karena adanya korosi dan *scaling* yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses AL (Arif, 2018).

#### 5. *Atmospheric Chloride Leaching Process* (ACLCP)

*Atmospheric chloride leaching process* merupakan salah satu proses yang dapat dijadikan solusi dalam pengolahan bijih nikel kadar rendah. Pada proses ini, penggunaan asam dan suhu yang rendah dengan tekanan atmosfer merupakan salah satu solusi dalam pengolahan yang hemat energi dibandingkan dengan metode HPAL. Pengurangan penggunaan asam pada proses ini terjadi karena produk akhir dari proses ini akan menghasilkan hematit, kemudian produk akhir hematit ini dapat dijual. Kelebihan lainnya dari proses ACLCP yakni sisa asam dari pelindian yang dilakukan dapat diolah kembali menggunakan metode pirolisis.

Persen ekstraksi Ni dan Co dari proses ini dapat mencapai Ni >90% dan Co >80%. Namun terlepas dari beberapa kelebihanannya, proses ini memiliki kerugian yakni biaya perawatan alat yang cukup besar karena penggunaan asam kuat yang dapat membuat alat tidak tahan terhadap korosi, selanjutnya biaya asam klorida yang cukup mahal dibandingkan dengan asam lainnya yang lebih murah seperti asam sulfat (McDonald *and* Whittington, 2008). Pada proses intek laterit penggunaan asam klorida pada tekanan atmosfer dapat menghasilkan persen ekstraksi Ni dan Co >95% yang dilakukan pada suhu 150° - 180° selama 2 jam menggunakan proses pirohidrolisis dalam pengolahan sisa asam dari proses pelindian dengan penambahan kalsium klorida. Proses ini tidak membutuhkan energi panas yang tinggi dalam proses pemanasannya sehingga lebih efektif dibandingkan dengan metode HPAL (McDonald *and* Whittington, 2008).

## **2.4 Kalsinasi pada Pengolahan Bijih Nikel Laterit**

Proses hidrometalurgi sangat kompleks dan panjang, tetapi energinya rendah. Sebaliknya, proses pirometalurgi sederhana tetapi padat energi, dan memiliki persyaratan pada bijih nikel laterit mentah yang mengandung nikel tinggi (Ma, et al, 2016). Proses hidrometalurgi umumnya dilakukan untuk pengolahan bijih nikel laterit dengan kandungan kurang dari 1,5% Ni. Menurut Oxley dan barca (2013) metode hidrometalurgi, salah satunya adalah High Pressure Acid Leach (HPAL) dinyatakan tidak ekonomis dan membutuhkan biaya investasi yang besar, selain itu teknologi tersebut belum banyak terbukti (*unwell proven*) pada skala industri. Oleh karena itu, perlu dikembangkan suatu teknologi pengolahan bijih nikel laterit kadar rendah dengan biaya produksi dan investasi yang murah. Untuk mengatasi keterbatasan proses pirometalurgi, para ahli telah mengusulkan mengganti tahap peleburan dengan pemisahan magnetik untuk recovery partikel feronikel yang dihasilkan selama tahap

roasting. Roasting-pemisahan magnetik adalah proses ekstraksi nikel baru dan menunjukkan potensi yang bagus karena memiliki keuntungan seperti kesederhanaan dan konsumsi energi yang rendah secara bersamaan dan dapat digunakan untuk menangani berbagai jenis bijih laterit (Jiang, et al, 2013). Pada tahap roasting, nikel dan besi direduksi menjadi keadaan logam pada temperatur 1000 ~ 1200 °C. Partikel feronikel dipisahkan dari terak pada tahap pemisahan magnetik setelah hasil roasting dihaluskan. Tingkat recovery nikel umumnya lebih tinggi dari 90%. Proses pemisahan reduksi selektif-magnetik terutama dilakukan untuk meningkatkan kadar nikel produk feronikel. Nikel didapatkan sebanyak mungkin dan metalisasi besi harus ditahan untuk mencapai reduksi selektif yang optimal dan mendapatkan produk feronikel dengan kadar nikel tinggi. Berkenaan dengan selektivitas reduksi, seleksi ini masih kurang sempurna, karena besi harus metalisasi sampai batas tertentu dan bertindak sebagai pembawa nikel (Pickles dkk., 2015). Selain itu, sangat penting untuk memaksimalkan ukuran partikel feronikel sehingga paduan feronikel dapat diperoleh kembali dengan penggilingan berikutnya dan pemisahan magnetik. Zhu (Zhu dkk., 2012) mempelajari ekstraksi bijih laterit limonitik dan saprolitik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan mineral silikat yang berguna untuk meningkatkan konsentrasi nikel dengan menekan pengurangan oksida besi.

Teknologi proses reduksi selektif (parsial) dikembangkan untuk mengolah bijih nikel laterit menjadi konsentrat logam ferronikel. Teknologi tersebut merupakan gabungan dari metode pirometalurgi dan benefisiasi secara fisik, dimana bijih nikel laterit terlebih dahulu direduksi pada temperatur tertentu yang kemudian dilanjutkan dengan proses pemisahan magnetik untuk memisahkan pengotor/slag (non-magnetik) dengan konsentrat ferronikel (magnetik). Proses reduksi dilakukan pada temperatur proses yang rendah (1100-1200 °C) dengan penambahan material/gas reduktan dan sejumlah aditif (senyawa sulfat, karbonat atau khlorida) pada bijih nikel laterit. Proses

reduksi selektif ditujukan untuk mereduksi keseluruhan senyawa oksida nikel, namun hanya mereduksi sebagian senyawa oksida besi yang terkandung dalam bijih nikel laterit. Proses reduksi diawali dengan menghilangkan senyawa hidroksida, yaitu serpentine- $(\text{Mg,Fe,Ni})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  dan goetit- $(\text{FeOOH})$ . Pada temperatur 500-600°C, serpentin akan berubah menjadi forsterit- $(\text{Mg,Fe,Ni})\text{SiO}_3$  dan enstatit- $(\text{Mg,Fe,Ni})_2\text{SiO}_4$ , sedangkan goetit akan berubah menjadi hematit- $(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ . Pemanasan lebih lanjut akan menyebabkan nikel dalam forsterit dan enstatit berubah menjadi nikel oksida (NiO) dan logam nikel-Ni, sedangkan hematit akan berubah menjadi magnetit- $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , wustit- $\text{FeO}$ , dan logam besi-Fe.

## 2.5 Batubara

Batu bara merupakan salah satu bahan bakar fosil, atau tidak dapat diperbaharui. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Batu bara juga adalah batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk. Berdasarkan tingkat proses pembentukannya yang dikontrol oleh tekanan, panas dan waktu, batu bara umumnya dibagi dalam lima kelas : antrasit, bituminus, sub-bituminus, lignit dan gambut.

Batubara sering digunakan sebagai reduktor dalam proses reduksi selektif. Keberadaan sulfur mampu menjadi agen reduktor dalam proses reduksi bijih nikel laterit melalui persamaan (2.1). Namun laju difusi sulfur yang keluar dari bijih nikel laterit dalam proses reduksi jauh lebih cepat dibandingkan dengan persamaan (2.1), sehingga hanya sebagian kecil dari sulfur yang dapat berperan sebagai reduktor. Penambahan reduktor padat, seperti batubara yang mampu menghasilkan gas



reduktor (CO) memiliki laju reaksi reduksi (persamaan 2.2) yang lebih cepat dibandingkan dengan persamaan (2.1)



Penelitian terkait penambahan reduktan batubara pada proses reduksi bijih nikel laterit jenis limonit telah dilakukan (Elliot et al., 2015). Penambahan reduktan akan menghasilkan lebih banyak gas reduktan (CO) sehingga akan meningkatkan suasana reduksi yang berdampak pada semakin banyaknya logam (besi dan nikel) oksida yang tereduksi. Ukuran partikel bijih nikel laterit semakin meningkat seiring dengan bertambahnya reduktor. Namun, peningkatan metalisasi besi mengakibatkan rendahnya kadar nikel dalam konsentrat yang diperoleh.

## **2.6 Pengaruh Aditif dalam Kalsinasi Bijih Nikel Laterit**

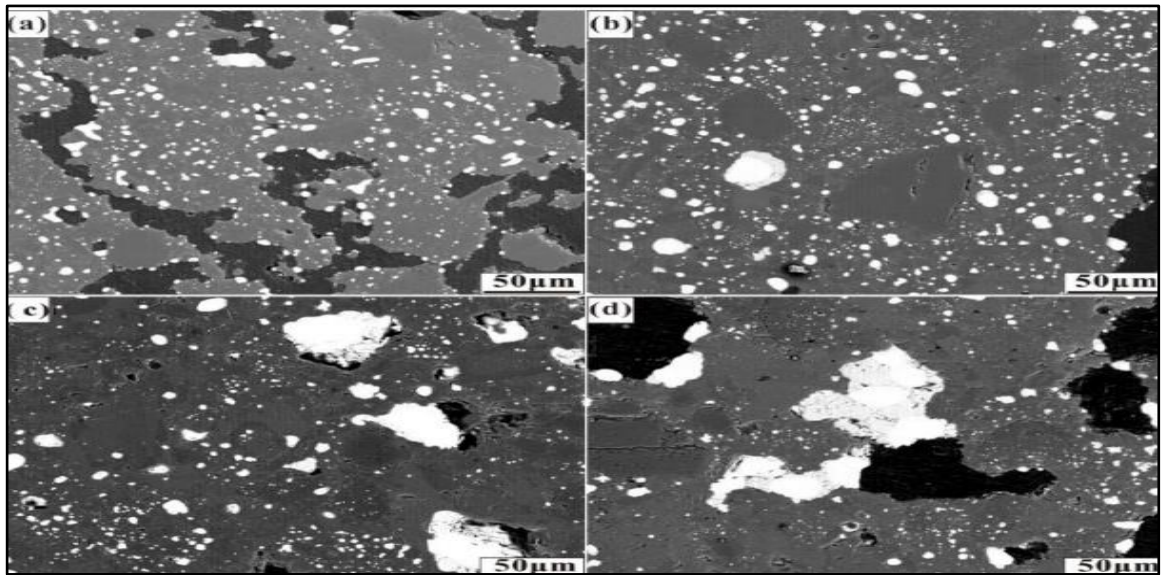
Selective agent atau biasa juga disebut dengan zat aditif merupakan zat yang biasanya ditambahkan pada proses pengolahan bijih nikel laterit yang berfungsi untuk meningkatkan efisiensi yang terjadi pada proses reduksi bijih nikel laterit. Penambahan zat aditif ini dilakukan sebelum terjadinya proses reduksi, tepatnya pada saat pencampuran bahan. Penelitian terkait penggunaan selective agent (zat aditif) seperti penambahan sulfur saat reduksi bijih nikel laterit dalam usaha peningkatan jumlah perolehan nikel dalam feronikel telah dilakukan di antaranya melakukan reduksi selektif nikel laterit dengan penambahan natrium sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) dan kalsium sulfat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )

Elliott , et al, (2015) juga mempelajari efek penambahan batubara, belerang, pirit, dan natrium sulfat, dan temperatur reduksi dalam kisaran 1000-1200 °C pada pengurangan selektif limonit dan saprolit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan belerang ke dalam limonit lebih cocok untuk saprolit. Peningkatan

penambahan karbon dan sulfur dan temperatur reduksi yang lebih tinggi menyebabkan pembentukan paduan feronikel yang menurunkan kadar nikel. Untuk sampel limonit dengan penambahan sulfur 4% pada temperatur reduksi 1100°C selama 1 jam, ukuran partikel feronikel rata-rata 1,59  $\mu\text{m}$  tercapai, dibandingan dengan 1,01  $\mu\text{m}$  untuk bijih yang sama dan kondisi reduksi tanpa penambahan sulfur. Sementara untuk saprolit, penambahan sulfur mengurangi ukuran rata-rata partikel feronikel. Oleh karena itu penelitian ini mengingatkan bahwa dalam proses mengoptimalkan kondisi reduksi selektif, pemilihan aditif yang sesuai untuk bijih laterit yang berbeda adalah penting.

Beberapa penelitian terkait penggunaan aditif dalam proses reduksi selektif untuk meningkatkan keefektifan dan efisiensi dari proses reduksi selektif, diantaranya meningkatkan kadar dan perolehan nikel dalam konsentrat (Bunjaku et al., 2011). Salah satu unsur yang dapat digunakan sebagai aditif adalah sulfur (Jiang et al. 2013; Elliot et al., 2017; Harris et al., 2011; Elliot et al., 2015; Harris et al., 2013). Penelitian lain juga telah dilakukan dengan menggunakan senyawa sulfur sebagai aditif, seperti *pyrite*-Fe<sub>2</sub>S (Harris et al., 2013); sodium sulfat-Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Li et al., 2012; Jiang et al. 2013; Chen et al., 2016; Rao et al., 2016); sodium sulfida-Na<sub>2</sub>S (Jiang et al., 2013); dan kalsium sulfat-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (Zhu et al., 2012; Setiawan et al., 2014), menemukan bahwa penambahan senyawa sulfur dapat meningkatkan kadar dan perolehan nikel pada hasil akhir separasi magnetik (Zhu et al., 2012; Jiang et al., 2013). Hal tersebut dikarenakan penambahan aditif sulfat mampu meningkatkan ukuran butir ferronikel (warna putih) sehingga akan meningkatkan derajat liberasi ferronikel dari pengotor, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.5 (Hang et al., 2020). Menurut Shofi et al. (2019) penggunaan aditif sulfat memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan aditif karbonat dan khlorida pada jumlah penambahan yang sama. Dari penelitian sebelumnya diperoleh bahwa aditif sodium sulfat memberikan kadar dan perolehan nikel yang jauh lebih baik dibandingkan dengan sodium karbonat (Nurjaman, 2019).

Penambahan dosis sodium sulfat dapat menurunkan metalisasi Fe melalui mekanisme reaksi sulfidasi dengan pembentukan senyawa troilit-FeS, sebagaimana ditunjukkan persamaan (9-13). (Rao et al., 2016).



Gambar 2. 6 Pengaruh penambahan aditif pada reduksi selektif pada temperature 1200°C : (a) 4%, (b) 8%, (c) 12%, (d) 16%

## 2.7 Pengaruh Reduktan dalam Reduksi Selektif Bijih Nikel Laterit

Material/gas reduktan digunakan untuk mereduksi besi dan nikel oksida menjadi logam ferronikel. Menurut Pan et al. (2013), selain melalui penggunaan aditif, proses reduksi selektif juga dapat dilakukan dengan membatasi jumlah besi tereduksi melalui pembatasan jumlah reduktan, dimana dari hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kandungan nikel akan semakin berkurang dengan meningkatnya jumlah reduktan. Selain sebagai aditif, keberadaan sulfur mampu menjadi agen reduktor dalam proses reduksi bijih nikel laterit. Namun laju difusi sulfur yang keluar dari bijih nikel laterit dalam proses reduksi jauh lebih cepat sehingga hanya sebagian kecil dari sulfur yang dapat berperan sebagai reduktor. Penambahan reduktor padat, seperti batubara yang mampu menghasilkan gas reduktor (CO) memiliki laju reaksi reduksi yang lebih cepat.

Penelitian terkait penambahan reduktan batubara pada proses reduksi bijih nikel laterit jenis limonit telah dilakukan (Elliot et al., 2017). Penambahan reduktan akan menghasilkan lebih banyak gas reduktan (CO) sehingga akan meningkatkan suasana reduksi yang berdampak pada semakin banyaknya logam (besi dan nikel) oksida yang tereduksi. Ukuran partikel bijih nikel laterit semakin meningkat seiring dengan bertambahnya reduktor. Namun, peningkatan metalisasi besi mengakibatkan rendahnya kadar nikel dalam konsentrat yang diperoleh. Penggunaan batubara (bituminous dan lignite) sebagai reduktor telah banyak dilakukan (Elliot et al., 2017; Elliot et al., 2015; Jiang et al., 2013; Li et al., 2012), dikarenakan ketersediaan yang cukup melimpah dan harganya yang relatif jauh lebih murah. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Harjanto et al. (2019), bahwa penggunaan reduktan batubara lignit (low-rank coal) tidak mempengaruhi kandungan dan perolehan nikel, namun mempengaruhi perolehan logam, dimana perolehan logam pada proses reduksi dengan menggunakan reduktan batubara lignite jauh lebih rendah dibandingkan dengan batubara bituminous. Hal tersebut dikarenakan kandungan karbon dalam batubara lignite yang lebih rendah dibandingkan dengan bituminous. Penggunaan reduktan berbasis biomassa juga mulai banyak digunakan dalam proses reduksi selektif bijih nikel laterit dikarenakan karakteristiknya yang ramah lingkungan, dimana reduktan biomassa memiliki kandungan sulfur yang lebih rendah dibandingkan dengan batubara, sehingga mampu meminimalisir pembentukan gas SO<sub>2</sub> yang berdampak negatif terhadap lingkungan (Petrus et al., 2019; Suharno et al., 2019). Berdasarkan proses reduksi berbasis batubara dan pemisahan lebur pada temperatur tinggi, (Cao, et al, 2016) meneliti pengaruh faktor proses terhadap reduksi bijih laterit dengan kadar nikel rendah 0,78% dan kadar besi tinggi 46,54%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketika CaF<sub>2</sub> dan kapur ditambahkan secara bersamaan dapat menghasilkan logam yang terpisah dariterak. Dengan rasio mol C/O meningkat dari 1,0 menjadi 1,2

dan kandungan Ni dalam partikel logam meningkat dari 1,37% menjadi 1,42%, maka hasil recovery Ni meningkat dari 88,74% menjadi 92,12%. Selain itu, rasio mol C/O yang rendah menahan reduksi oksida besi dan meningkatkan kandungan Ni dalam logam, sementara tingkat recovery Ni menurun. Akibatnya, pemilihan aditif dan rasio mol C/O harus dioptimalkan. (Li, et al, 2011) mempelajari ekstraksi nikel dari bijih laterit nikel kadar rendah (Ni 1,09% dan Fe 9,12%) menggunakan metode deoksidasi keadaan padat. Persentase konversi total nikel menjadi nikel logam meningkat dengan cepat seiring meningkatnya CO, dengan  $\alpha_{Ni}$  maksimal 96%. Selain itu,  $\alpha_{Ni}$  hingga 80% dapat diperoleh saat menggunakan antrasit sebagai reduktor padat. Menggunakan CO sebagai reduktor, persentase konversi total nikel menjadi nikel logam meningkat dengan meningkatnya temperatur dan waktu, dan kemudian tetap stabil dengan kenaikan lebih lanjut, tetapi menurun secara tiba-tiba pada temperatur 850°C karena transformasi fase. Saat menggunakan antrasit sebagai reduktor,  $\alpha_{Ni}$  umumnya meningkat dengan meningkatnya temperatur reduksi, dan  $\alpha_{Ni}$  meningkat dengan peningkatan waktu reduksi tetapi menurun perlahan seiring peningkatan waktu di atas 80 menit. Penelitian tentang karakteristik reduksi nikel dari bijih nikel laterit dengan menggunakan reduktor berbeda menggambarkan pentingnya efek dari jenis/dosis reduktor, temperatur dan waktu reduksi, dan nilai praktis untuk pengembangan metode pirometalurgi.

## **2.8 Aditif $Na_2CO_3$**

$Na_2CO_3$  cocok sebagai aditif untuk meningkatkan reduksi dan benefisi nikel dengan bereaksi pada mineral bijih laterit nikel untuk menghancurkan struktur bijih (Guang-hui dkk., 2011). Penggunaan aditif  $Na_2CO_3$  memiliki tujuan untuk meningkatkan selektifitas Ni dengan menurunkan kadar senyawa yang tidak diinginkan atau zat pengotor.  $Na_2CO_3$  akan terurai menjadi  $Na_2O$  dan  $CO_2$  pada temperature 1000°C.

Senyawa  $\text{Na}_2\text{O}$  yang terbentuk akan mampu untuk mengikat unsur pengotor seperti Cr, Al, dan Si. (Guo, 2014).