

**SKRIPSI**

**ANALISIS LAJU PELINDIAN LOGAM DARI BIJIH LIMONIT  
LAPAOPAO KABUPATEN KOLAKA DENGAN METODE  
*ATMOSPHERIC LEACHING* MENGGUNAKAN  
PELARUT ASAM NITRAT**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**IBNU SYAUQY RAMADHAN  
D111 17 1314**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**ANALISIS LAJU PELINDIAN LOGAM DARI BIJIH LIMONIT  
LAPAOPAO KABUPATEN KOLAKA DENGAN METODE  
ATMOSPHERIC LEACHING MENGGUNAKAN  
PELARUT ASAM NITRAT**

Disusun dan diajukan oleh

**Ibnu Syauqy Ramadhan  
D111 17 1314**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian  
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 04 Mei 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



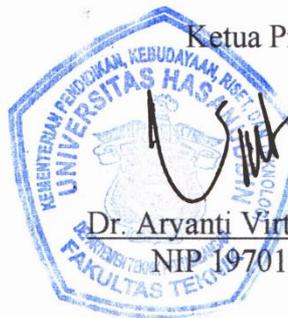
Dr. Ir. Sufriadin, S.T., M.T.  
NIP 1966081720001210001

Pembimbing Pendamping,



Dr. Ir. Irzal Nur M.T.  
NIP 196604091997031002

Ketua Program Studi,

Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T.  
NIP 197010052008012026

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Ibnu Syauqy Ramadhan

NIM : D111171314

Program Studi : Teknik Pertambangan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Analisis Laju Pelindian Logam Dari Bijih Limonit Lapaopao Kabupaten Kolaka  
Dengan Metode *Atmospheric Leaching* Menggunakan Pelarut Asam Nitrat}

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

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 04 Mei 2023

Yang Menyatakan



Ibnu Syauqy Ramadhan

## ABSTRAK

**IBNU SYAUQY RAMADHAN.** *Analisis Laju Pelindian Logam dari Bijih Limonit Lapaopao Kabupaten Kolaka dengan Metode Atmospheric Leaching Menggunakan Pelarut Asam Nitrat* (dibimbing oleh Sufriadin dan Irzal Nur)

Lapisan limonit umumnya memiliki kadar nikel yang rendah dan komposisi mineral yang kompleks sehingga tidak ekonomis untuk diekstraksi dengan metode pirometalurgi. Metode yang saat ini digunakan untuk mengolah limonit adalah pelindian bertekanan (HPAL) menggunakan pelarut asam sulfat. Akan tetapi metode HPAL memerlukan biaya operasional yang tinggi karena menggunakan suhu dan tekanan yang tinggi. Oleh karena itu, dilakukan penelitian pelindian bijih limonit dengan metode atmospheric leaching menggunakan asam nitrat karena biaya operasional dari metode ini cukup ekonomis dengan kinetika reaksi yang cukup baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik mineralogi dan kimia bijih limonit, menganalisis perilaku mineral selama proses pelindian serta menganalisis laju pelindian logam. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *X-Ray Diffraction* (XRD) dan mikroskop untuk analisis mineralogi serta metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) untuk analisis kadar bijih limonit. Percobaan pelindian menggunakan suhu, waktu, dan konsentrasi sebagai variabel penelitian. Hasil analisis mineralogi bijih limonit menunjukkan komposisi mineral terdiri dari *gibbsite*, *talca*, *goethite*, *quartz*, *hematite*, dan *lizardite*. Hasil analisis XRD residu menunjukkan bahwa mineral *quartz* tidak terdisolusi, mineral *gibbsite* dan *talca* terdisolusi sebagian, sedangkan mineral *goethite*, *hematite*, dan *lizardite* terdisolusi kuat selama proses pelindian. Laju pelindian Ni, Al, dan Co tertinggi berturut-turut yaitu sebesar 99,57%; 18,27%; dan 43,00% diperoleh pada konsentrasi HNO<sub>3</sub> 6 M, waktu pelindian 90 menit, rasio S/L 1:10, kecepatan agitasi 450 rpm, dan suhu pelindian 100°C, sedangkan laju pelindian Fe tertinggi sebesar 40,71% diperoleh pada konsentrasi HNO<sub>3</sub> 4 M, waktu pelindian 90 menit, rasio S/L 1:10, kecepatan agitasi 450 rpm, dan suhu pelindian 100°C.

Kata Kunci: Limonit, *Atmospheric Leaching*, Asam Nitrat, Disolusi, Laju Pelindian

## ABSTRACT

**IBNU SYAUQY RAMADHAN.** *Metal Leaching Rate Analysis of Lapaopao Limonite Ore at Kolaka Regency Using Atmospheric Leaching Method with Nitric Acid Solvent* (supervised by Sufriadin and Irzal Nur)

The limonite layer generally have low nickel grade and complex mineral compositions making it uneconomical to extract by pyrometallurgical methods. The currently method used to process limonite is high pressure atmospheric leaching (HPAL) using sulfuric acid solvents. However, the HPAL method requires high operational costs because it used high temperature and pressure. Therefore, a research was conducted on the leaching of limonite ore by atmospheric leaching method using nitric acid because the operational cost of this method is quite economical with good reaction kinetics. This research aims to identify the mineralogical and chemical characteristics of limonite ore, analyze mineral behavior during the leaching process and analyze the rate of metal leaching. The analytical methods used in this research are X-Ray Diffraction (XRD) and microscopy methods for mineralogical analysis and Atomic Absorbtion Spectrophotometry (AAS) method for analysis of limonite ore grade. The leaching experiment used temperature, time, and concentration as research variables. The mineralogical analysis of limonite ore shows that the mineral composition consists of gibbsite, talc, goethite, quartz, hematite, and lizardite. The residue XRD analysis results show that quartz minerals are not dissolved, gibbsite and talc minerals are partially dissolved, while goethite, hematite, and lizardite minerals are strongly dissolved during the leaching process. The highest Ni, Al, and Co leaching rates of 99.57%; 18.27%; and 43.00% were obtained at 6 M HNO<sub>3</sub> concentration, 90 min leaching time, 1:10 S/L ratio, 450 rpm agitation speed, and 100°C leaching temperature, respectively, while the highest Fe leaching rate of 40.71% was obtained at 4 M HNO<sub>3</sub> concentration, 90 min leaching time, 1:10 S/L ratio, 450 rpm agitation speed, and 100°C leaching temperature.

Keywords: Limonite, Atmospheric Leaching, Nitric Acid, Dissolution, Leaching Rate

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Analisis Laju Pelindian Logam dari Bijih Limonit Lapaopao Kabupaten Kolaka dengan Metode *Atmospheric Leaching* menggunakan Pelarut Asam Nitrat" yang disusun sebagai salah satu syarat lulus Mata Kuliah Skripsi Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan saran, masukan, serta dukungan baik secara moril dan materil kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Terima kasih banyak kepada PT Ceria Nugraha Indotama yang telah menyuplai sampel yang digunakan dalam penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih banyak kepada Bapak Dr. Ir. Sufriadin, S.T., M.T., selaku Kepala Laboratorium Analisis dan Pengolahan Bahan Galian sekaligus sebagai Pembimbing Utama dan Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, M.T., sebagai Pembimbing Pendamping. Terima kasih banyak kepada Bapak Dr. Phil.nat Sri Widodo, S.T., M.T., dan Bapak Dr. Eng. Ir. Muhammad Ramli M.T., selaku dosen penguji. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Ibu Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Pertambangan beserta segenap dosen dan staf administrasi Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada teman-teman CONTINUITY 2017, teman-teman Laboratorium Analisis dan Pengolahan Bahan Galian dan Akmal Saputno S.T., M.T., yang telah memberikan masukan, motivasi, dan semangat kepada penulis, serta ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada Bapak Tamrin dan Ibu Agusseva Dian Aggraini selaku orang tua yang tiada henti-hentinya memberikan do'a dan dukungan dalam bentuk apapun sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan pengetahuan dan pengembangan wawasan khususnya mengenai analisis laju pelindian logam dari bijih limonit dengan metode *atmospheric leaching* menggunakan pelarut asam nitrat pada industri pengolahan dan pemurnian bahan galian.

Makassar, Maret 2022

Ibnu Syauqy Ramadhan

# DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN PENGESAHAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
PERNYATAAN KEASLIAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ABSTRAK.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<i>ABSTRACT</i> .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Tahapan Kegiatan Penelitian .....	4
1.6 Lokasi dan Kesampaian Daerah Penelitian .....	6
BAB II PELINDIAN BIJIH LIMONIT .....	7
2.1 Nikel Laterit.....	7
2.2 Pengolahan dan Pemurnian Nikel Laterit .....	10
2.3 <i>Atmospheric Leaching</i> dengan Asam Nitrat ( $\text{HNO}_3$ ).....	21
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
3.1 Persiapan.....	23
3.2 Preparasi Sampel.....	24

3.3	Karakterisasi Sampel awal .....	27
3.4	Pelindian .....	30
3.5	Karakterisasi Sampel Akhir .....	34
3.6	Diagram Alir Penelitian .....	34
BAB IV KARAKTERISTIK DAN PELINDIAN BIJIH LIMONIT .....		36
4.1	Karakterisasi Awal Sampel Bijih Limonit .....	36
4.2	Analisis Residu dan <i>Pregnant Leach Solution</i> Hasil Pelindian .....	39
4.3	Laju Pelindian Ni, Fe, Al, dan Co .....	44
BAB V PENUTUP .....		49
5.1	Kesimpulan .....	49
5.2	Saran .....	50
DAFTAR PUSTAKA .....		51
LAMPIRAN .....		53

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Peta tunjuk lokasi penelitian.....	6
2.1 Profil endapan nikel laterit (Elias, 2002) .....	8
2.2 Diagram alir proses umum pengolahan bijih nikel laterit (Rodriguez, 2013).....	10
2.3 Skema pengolahan pirometalurgi (Kyle, 2010) .....	11
2.4 Diagram alir HPAL di Moa Bay (Meshram et al., 2019) .....	13
2.5 Diagram alir pelindian bertahap proses <i>atmospheric leaching</i> pada proyek FeNix Guatemala (LAPI ITB,2013).....	15
2.6 Diagram alir EPAL di Weda Bay (LAPI ITB, 2013) .....	17
2.7 Skema alur proses caron (Kyle, 2010).....	20
3.1 Proses <i>blending</i> material.....	25
3.2 <i>Quartering</i> sampel .....	25
3.3 Proses penggerusan sampel.....	26
3.4 Proses pengayakan sampel .....	26
3.5 Proses penimbangan sampel.....	27
3.6 Mikroskop Nikon Eclipse LV-100 POL.....	28
3.7 Mesin XRD tipe shimadzu maxima-X XRD 7000 .....	29
3.8 Mesin AAS tipe SpectrAA 220 Fast Sequential .....	30
3.9 Proses pelindian.....	33
3.10 Proses penyaringan hasil pelindian.....	34
3.11 Bagan alir penelitian.....	35
4.1 Kenampakan mineral secara mikroskopis.....	36
4.2 Hasil analisis XRD sampel awal.....	38
4.3 Hasil analisis XRD residu pelindian berdasarkan pengaruh suhu .....	40

4.4 Hasil analisis XRD residu pelindian berdasarkan pengaruh waktu .....	41
4.5 Hasil analisis XRD residu pelindian berdasarkan pengaruh konsentrasi.....	42
4.6 Grafik hubungan antara suhu pelindian terhadap laju pelindian Ni, Fe, Al, dan Co.....	45
4.7 Grafik hubungan antara waktu pelindian terhadap laju pelindian Ni, Fe, Al, dan Co.....	46
4.8 Grafik hubungan antara konsentrasi HNO <sub>3</sub> terhadap laju pelindian Ni, Fe, Al, dan Co.....	48

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1 Variasi Pelindian .....	32
4.1 Nilai d mineral yang terdapat dalam sampel.....	38
4.2 Hasil analisis AAS sampel awal .....	39
4.3 Kadar akhir Ni, Fe, Al, dan Co .....	44
4.4 Laju pelindian Ni, Fe, Al, dan Co berdasarkan pengaruh suhu .....	45
4.5 Laju pelindian Ni, Fe, Al, dan Co berdasarkan pengaruh waktu .....	46
4.6 Laju pelindian Ni, Fe, Al, dan Co berdasarkan pengaruh konsentrasi HNO <sub>3</sub> .....	47

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A. MSDS asam nitrat.....	54
B. Hasil analisis XRD .....	56
C. Hasil analisis AAS .....	77
D. Perhitungan pengenceran asam nitrat .....	79
E. Perhitungan kadar Ni, Fe, Al dan Co dari data AAS.....	82
F. Perhitungan laju pelindian Ni, Fe, Al, dan Co .....	91
G. Kartu konsultasi tugas akhir .....	100

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Nikel laterit merupakan endapan yang terbentuk karena adanya proses konsentrasi mineral-mineral berharga yang mengandung nikel yang berasal dari pelapukan batuan asal oleh gaya-gaya eksogen, seperti pelapukan akibat sinar matahari, curah hujan, dan lain-lain. Hasil pelapukan tersebut mengalami transportasi, pemisahan, dan akhirnya terkonsentrasi. Endapan ini mengalami proses laterisasi yang umumnya terjadi di daerah beriklim tropis karena matahari terus bersinar sepanjang tahun dan dengan curah hujan yang cenderung tinggi (Arif, 2018).

Lapisan limonit pada endapan nikel laterit dinilai memiliki kadar nikel yang rendah namun mengandung unsur kobalt dan besi yang tinggi. Lapisan limonit sering dijadikan sebagai *overburden* dan juga dianggap sebagai pengotor karena kurangnya teknologi dalam pengolahan nikel kadar rendah. Potensi yang dimiliki nikel kadar rendah yaitu besi dan kobalt seharusnya dapat diolah dengan baik salah satunya dengan cara pemilihan metode pengolahan sehingga dapat meningkatkan *recovery* (Prasetyo & Ronald, 2011).

Jalur pengolahan hidrometalurgi merupakan proses pengolahan atau ekstraksi logam berharga dari bijih menggunakan media cair atau larutan pada kondisi bertekanan atmosfer (Arif, 2018). Jalur pengolahan ini digunakan untuk mengolah nikel laterit lapisan limonit atau nikel laterit kadar rendah dengan  $Ni < 1,5\%$ ,  $Fe > 40\%$ ,  $Co < 0,2\%$ , dan  $MgO < 5\%$  (Prasetyo & Ronald, 2011). Limonit digunakan sebagai umpan untuk mendapatkan kelebihan dari kandungan kobalt yang relatif lebih tinggi pada bijih limonit. Kadar besi yang tinggi pada limonit tidak menjadi kendala, namun kadar magnesium tetap dijaga pada level rendah untuk efisiensi penggunaan asam (Arif, 2018).

Metode *atmospheric leaching* adalah proses mengekstraksi suatu material yang dapat larut dari suatu padatan dengan menggunakan pelarut pada tekanan atmosfer. (McDonald *and* Whittington, 2008). Kemampuan untuk mengekstraksi kobalt secara efisien menyebabkan proses ini menjadi lebih layak untuk pengolahan bijih limonit yang banyak mengandung besi dan kobalt (Gupta *and* Mukherjee, 1991). Metode ekstraksi *atmospheric leaching* dinilai menarik karena biaya operasional metode ini dinilai cukup ekonomis karena bisa disesuaikan untuk deposit bijih skala kecil (Saka, 2014).

*Atmospheric leaching* dengan berbagai asam telah dilakukan peneliti sebelumnya yang menunjukkan bahwa asam sulfat adalah asam yang paling efektif karena cukup korosif sehingga mampu melarutkan nikel (Prasetyo, 2016). Namun peneliti lain telah menemukan adanya kelebihan *atmospheric leaching* dengan menggunakan asam nitrat. *Atmospheric leaching* dengan metode *direct nickel process* dapat mendaur ulang >95% asam nitrat untuk digunakan kembali dengan teknologi paten US 6264909 "*Nitric Acid Production and Recycle*" (McCarthy, 2017). Fathoni dan Mubarak (2015) melakukan *atmospheric leaching* menggunakan asam nitrat pada nikel laterit dari Pulau Halmahera dengan konsentrasi HNO<sub>3</sub> 6 M, suhu 95°C dan waktu pelindian 8 jam menghasilkan *recovery* Ni sebesar 94%. Saka (2014) melakukan *atmospheric leaching* menggunakan asam nitrat pada nikel laterit dari Gordes, Turki dengan konsentrasi HNO<sub>3</sub> 378 g/l, suhu 104°C, dan waktu pelindian 48 jam menghasilkan *recovery* nikel sebesar 95,4% dan kobalt sebesar 96,6%.

Metode *atmospheric leaching*, disamping dipengaruhi oleh variabel pelindian juga dipengaruhi oleh karakteristik mineralogi dan kimia dari bijih limonit. Bijih yang berbeda dari lokasi yang berbeda memiliki mineral dan kadar yang berbeda. Perbedaan ini dapat mempengaruhi disolusi mineral selama proses pelindian. Analisis mineralogi sampel bijih limonit yang digunakan sangat penting untuk menyelidiki mekanisme pelindian sampel bijih limonit dalam berbagai larutan asam (Astuti *et al.*, 2016).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini akan membahas tentang ekstraksi bijih limonit dengan metode *atmospheric leaching* dengan menggunakan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) yang diharapkan dapat menjadi alternatif solusi dalam pengolahan bijih nikel laterit.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik mineralogi dan kimia bijih limonit Lapaopao, Kabupaten Kolaka.
2. Bagaimana tingkat disolusi mineral selama proses pelindian dengan menggunakan pelarut asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ).
3. Bagaimana laju pelindian logam dari bijih limonit dengan metode *atmospheric leaching* menggunakan pelarut asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ )

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik mineralogi dan kimia bijih limonit Lapaopao, Kabupaten Kolaka.
2. Menganalisis tingkat disolusi mineral selama proses pelindian dengan menggunakan pelarut asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ).
3. Menganalisis laju pelindian logam dari bijih limonit dengan metode *atmospheric leaching* menggunakan pelarut asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ).

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini berguna untuk memberikan informasi kepada akademisi, perusahaan tambang, dan industri pengolahan dan pemurnian nikel tentang alternatif

ekstraksi bijih nikel laterit terutama yang berada pada zona limonit melalui proses hidrometalurgi dengan metode *atmospheric leaching* menggunakan pelarut asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) sehingga dapat diolah dan diekstraksi secara efektif dan efisien.

## 1.5 Tahapan Kegiatan Penelitian

Tahapan kegiatan penelitian yang dilaksanakan adalah sebagai berikut:

### 1. Persiapan

Tahapan persiapan merupakan tahapan yang berisi kegiatan pendahuluan sebelum penelitian. Tahapan ini terdiri dari perumusan masalah yang akan diangkat dalam kegiatan penelitian dan persiapan administrasi yang terkait dalam penelitian serta persiapan alat dan bahan yang akan digunakan.

### 2. Studi Literatur

Tahapan ini merupakan tahapan mencari referensi teori yang relevan dengan rumusan masalah pada penelitian yang akan dilakukan. Pada tahapan ini dilakukan kajian terhadap artikel-artikel ilmiah atau buku terdahulu yang berkaitan dengan tujuan penelitian. Tahapan studi literatur yang dilakukan dapat melalui jurnal, buku, artikel, dan referensi lainnya yang berkaitan dengan masalah yang akan dikaji pada penelitian.

### 3. Penelitian di Laboratorium

Tahapan penelitian di laboratorium adalah sebagai berikut:

- a. Preparasi sampel adalah kegiatan yang bertujuan untuk mempersiapkan sampel agar siap digunakan. Preparasi sampel dilakukan dengan cara *blending, quartering*, penggerusan, pengayakan dan penimbangan.
- b. Karakterisasi sampel awal dilakukan dengan analisis XRD, mikroskopis, dan AAS. Analisis XRD bertujuan untuk mengetahui kandungan mineral yang terkandung dalam sampel, analisis mikroskopis digunakan untuk mengamati

mineral yang ada pada bijih nikel laterit di bawah mikroskop dengan menggunakan sayatan poles, analisis AAS digunakan untuk mengetahui kadar awal Ni, Fe, Al, dan Co pada sampel bijih limonit yang digunakan.

- c. Proses pelindian sampel dilakukan dengan menggunakan larutan asam nitrat dimana variabel yang digunakan adalah suhu, waktu, dan konsentrasi, sedangkan kondisi tetap pelindian yaitu tekanan pelindian, jenis pelarut, kecepatan pengadukan, ukuran butir, dan rasio S/L.
- d. Karakterisasi sampel akhir dilakukan dengan analisis XRD dan AAS. Analisis XRD digunakan untuk mengkarakterisasi sampel residu dari hasil pelindian yang bertujuan untuk mengetahui kandungan mineral yang terkandung dalam sampel setelah proses pelindian. Analisis AAS digunakan untuk mengetahui kadar Ni, Fe, Al, dan Co setelah dilakukan proses pelindian sehingga dapat diketahui laju pelindian logam dari hasil pelindian.

#### 4. Pengolahan dan Interpretasi Data

Pengolahan data merupakan tahapan mengumpulkan dan mengolah data yang telah didapatkan sehingga mendapatkan hasil analisis mineralogi dan kimia bijih serta laju pelindian logam Ni, Fe, Al, dan Co. Data yang ada akan diolah menggunakan aplikasi Match 3, Microsoft Excel, dan Microsoft Word.

#### 5. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

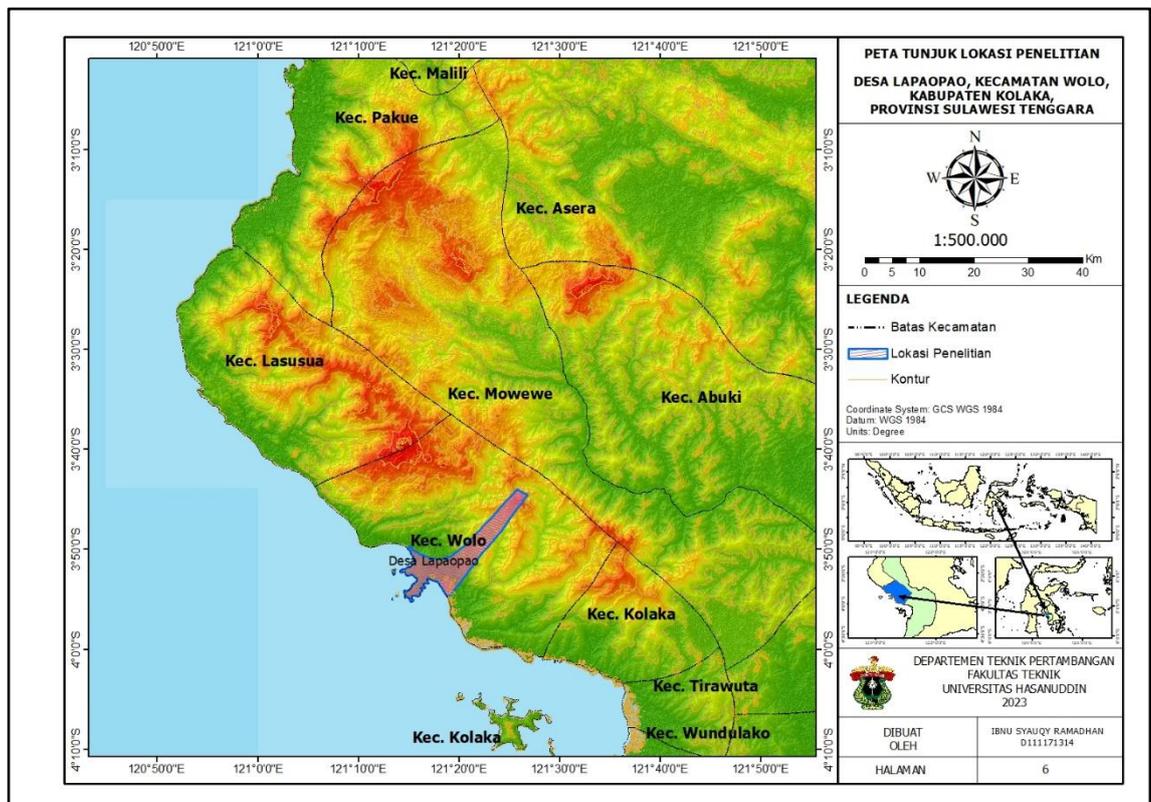
Tahapan ini merupakan tahapan akhir yang dilakukan dalam kegiatan penelitian. Seluruh hasil penelitian disusun secara sistematis sesuai aturan penulisan yang telah ditetapkan oleh Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin.

#### 6. Seminar dan Penyerahan Laporan

Laporan tugas akhir dipresentasikan pada seminar hasil dan ujian sidang untuk memaparkan hasil penelitian yang telah dilakukan dan kemudian laporan tugas akhir yang telah direvisi diserahkan ke Departemen Teknik Pertambangan.

## 1.6 Lokasi dan Kesampaian Daerah Penelitian

Lokasi pengambilan sampel bijih limonit yang digunakan dalam penelitian berasal dari Daerah Lapaopao, Kecamatan Wolo, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara, Indonesia. Lokasi penelitian dapat ditempuh melalui jalur darat, udara, maupun laut. Perjalanan dari Makassar menuju lokasi penelitian dapat ditempuh menggunakan transportasi udara melalui Bandara Sultan Hasanuddin Makassar dengan waktu tempuh 1 jam untuk sampai di Bandara Sangia Nibandera Tanggetada Kolaka. Kemudian perjalanan dari Bandara Sangia Nibandera Tanggetada Kolaka ke lokasi penelitian ditempuh menggunakan kendaraan roda empat dalam waktu 2,5 jam. Peta tunjuk lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Peta tunjuk lokasi penelitian

## **BAB II**

### **PELINDIAN BIJIH LIMONIT**

#### **2.1 Nikel Laterit**

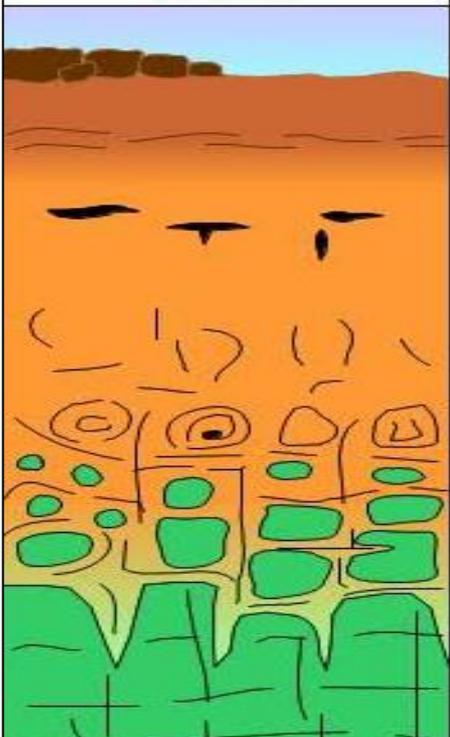
Nikel adalah unsur logam yang terbentuk secara alami dan memiliki ciri mengkilap serta berwarna putih keperak-perakan. Logam ini merupakan logam yang keras dan tahan korosi serta cukup reaktif terhadap asam dan lambat bereaksi terhadap udara. Logam ini cukup stabil dan tidak dapat bereaksi terhadap oksida sehingga sering digunakan sebagai koin dan pelapis dalam bentuk paduan. Dalam dunia industri, nikel adalah logam yang memiliki banyak aplikasi diantaranya 62% dari logam nikel digunakan untuk baja tahan karat dan 13% sebagai *superalloy* dan paduan tanpa besi karena sifatnya yang tahan korosi dan suhu tinggi (Astuti, 2012).

Deposit nikel dunia ditemukan dalam bentuk endapan bijih nikel sulfida dan endapan bijih nikel laterit. Endapan bijih nikel sulfida terbentuk karena proses magmatik, sedangkan endapan bijih nikel laterit terbentuk karena laterisasi batuan ultramafik. 73% dari deposit nikel dunia berasal dari endapan bijih nikel laterit dan sekitar 23% deposit nikel dunia berasal dari endapan bijih nikel sulfida (Dalvi *et al.*, 2004).

Nikel laterit merupakan endapan yang terbentuk karena adanya proses konsentrasi mineral-mineral berharga yang mengandung nikel yang berasal dari pelapukan batuan asal (*host rock*) oleh gaya-gaya eksogen, seperti pelapukan (*weathering*) akibat sinar matahari, curah hujan, dan lain-lain. Hasil pelapukan tersebut mengalami transportasi, pemisahan (*sorting*), dan akhirnya terkonsentrasi. Endapan ini mengalami proses laterisasi yang umumnya terjadi di daerah beriklim tropis karena matahari terus bersinar sepanjang tahun dan dengan curah hujan yang cenderung tinggi (Arif, 2018).

Proses Laterisasi merupakan proses yang melibatkan pemecahan mineral utama dan pelepasan beberapa dari komponen tidak larut dan pembentukan mineral baru yang stabil pada lingkungan pelapukan (Elias, 2002). Transportasi mineral dan/atau unsur terjadi melalui proses pelindian (*leaching*). Proses pelindian ini merupakan proses pelarutan unsur-unsur hasil pelapukan dari tubuh batuan atau bijih melalui media air. Proses ini sangat dipengaruhi oleh nilai pH, reaksi reduksi oksidasi, material organik yang tidak terlarut, dan aktivitas mikrobiologi di lingkungannya (McGraw Hill, 2003).

Proses laterisasi ini berawal dari infiltrasi air hujan yang bersifat asam masuk ke dalam zona retakan kemudian melarutkan mineral yang mudah larut pada batuan asal. Mineral dengan berat jenis yang tinggi akan tertinggal di permukaan membentuk pengkayaan residual, sedangkan mineral yang mudah larut akan turun ke bawah membentuk zona akumulasi dengan pengayaan supergen (Asy'ari dkk, 2013). Profil endapan nikel laterit dapat dilihat pada Gambar 2.1.

SCHEMATIC LATERITE PROFILE	COMMON NAME	APPROXIMATE ANALYSIS (%)			
		Ni	Co	Fe	MgO
	RED LIMONITE	<0.8	<0.1	>50	<0.5
	YELLOW LIMONITE	0.8 to 1.5	0.1 to 0.2	40 to 50	0.5 to 5
	TRANSITION	1.5 to 4		25 to 40	5 to 15
	SAPROLITE/ GARNIERITE/ SERPENTINE	1.8 to 3	0.02 to 0.1	10 to 25	15 to 35
	FRESH ROCK	0.3	0.01	5	35 to 45

Gambar 2.1 Profil endapan nikel laterit (Elias, 2002)

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 ini memiliki konsentrasi besi yang cukup tinggi 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 batuan asal dengan ketebalan 0,5-10 m. Secara mineralogi lapisan ini didominasi oleh goetit pada bagian atas dan hematite pada lapisan limonit bagian bawah (Al-Khribash, 2015).

c) Zona Saprolit

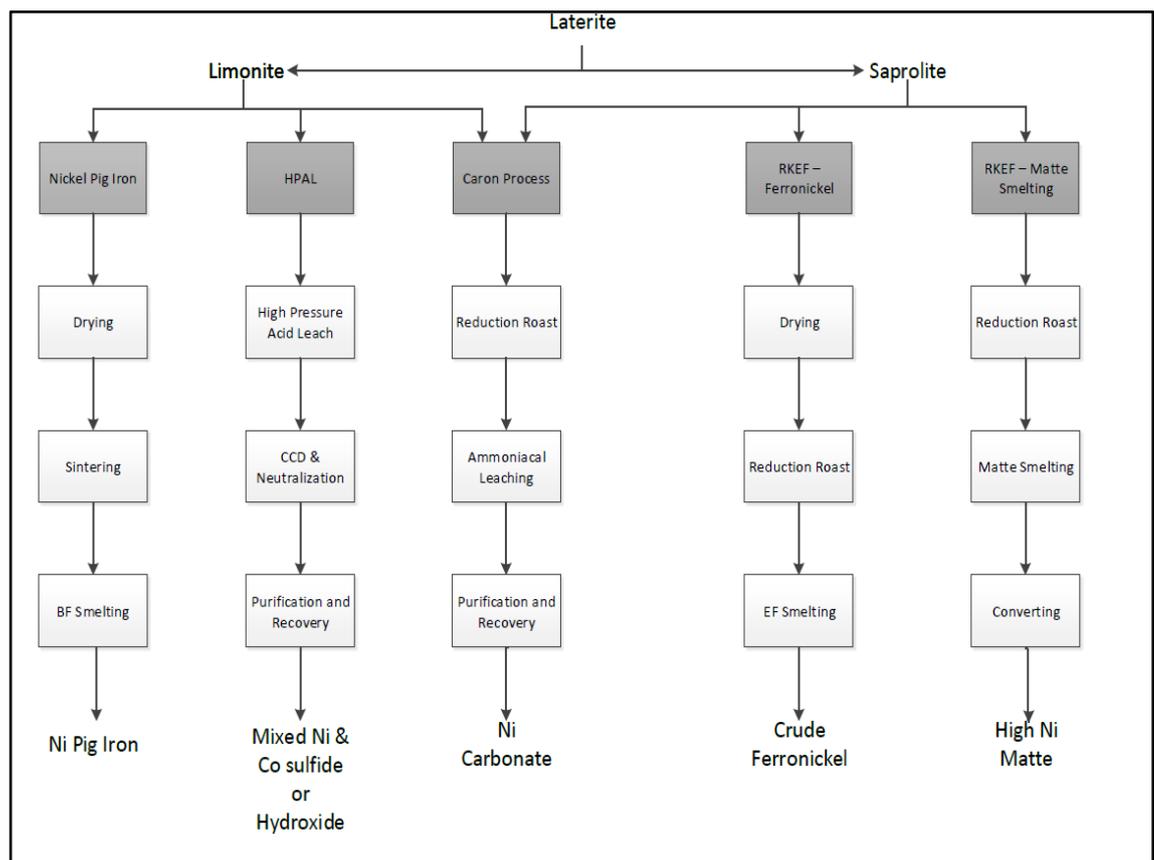
Zona saprolit adalah lapisan dengan bentuk permukaan yang cenderung datar. Lapisan ini memiliki ketebalan 1-6 m dengan warna coklat kemerahan sampai kehijauan, kuning keabuan, coklat kekuningan, dan hijau keabuan (Fu *et al.*, 2014). Pada zona ini ditemukan batuan dasar yang terlaterisasi, namun masih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

d) Zona Batuan Dasar (*Bedrock*)

Zona batuan dasar (*bedrock*) merupakan batuan ultramafik yang belum mengalami proses pelapukan. Komposisi kimia batuan memiliki kemiripan terhadap komposisi kimia *bedrock* yang tidak teralterasikan. Terdapat struktur patahan dan rekahan terjadi seiring terjadinya tekanan hidrosostatik pada batuan sementara sirkulasi air permukaan meresap melalui patahan dan rekahan.

## 2.2 Pengolahan dan Pemurnian Nikel Laterit

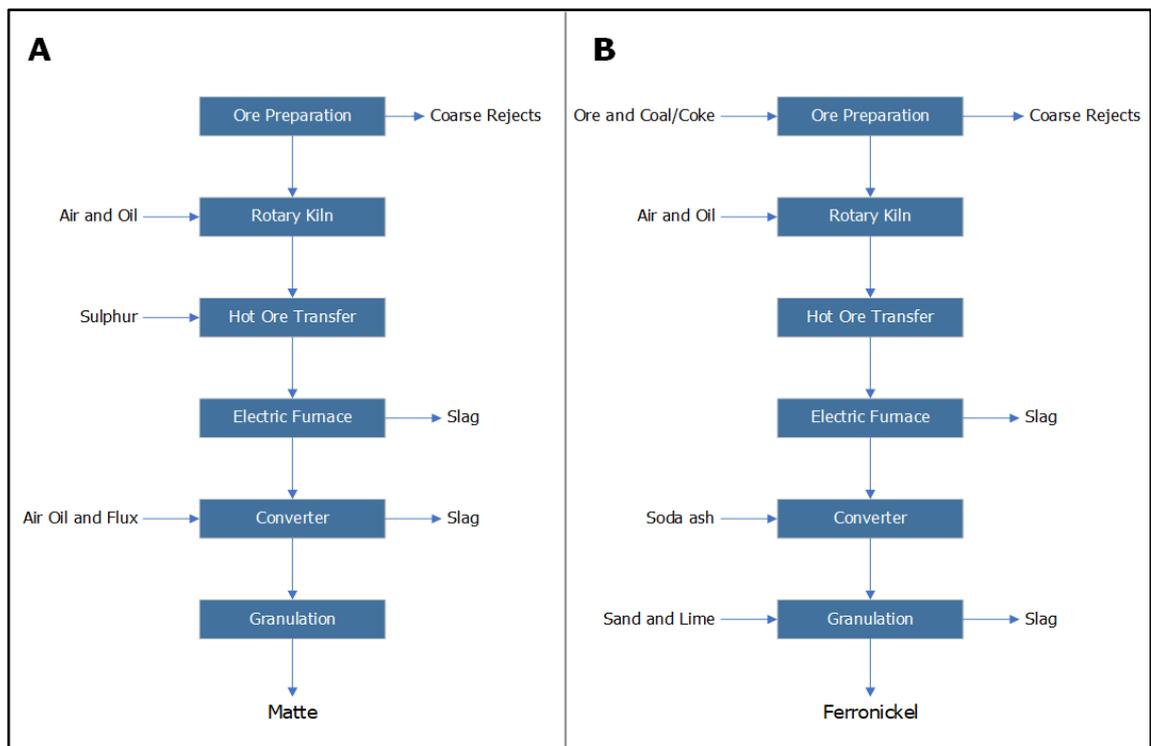
Metode pengolahan nikel laterit terdiri dari beberapa jalur utama yaitu pirometalurgi, hidrometalurgi dan caron. Pemilihan metode pengolahan bijih nikel laterit dipengaruhi oleh karakteristik dan mineralogi dari endapan nikel laterit. Jalur pengolahan pirometalurgi digunakan untuk mengolah nikel laterit lapisan saprolit atau nikel laterit berkadar tinggi dengan  $Ni > 1,8\%$ ,  $Fe$  15-35%,  $Co$  0,02-0,1%, dan  $MgO$  15-35%. Jalur pengolahan hidrometalurgi digunakan untuk mengolah nikel laterit lapisan limonit atau nikel laterit kadar rendah dengan  $Ni < 1,5\%$ ,  $Fe > 40\%$ ,  $Co < 0,2\%$ , dan  $MgO < 5\%$ . Jalur pengolahan caron digunakan untuk mengolah bijih nikel laterit zona transisi dengan kadar  $Ni$  1,5-1,2%,  $Fe$  25-40%,  $Co$  0,02-0,1%, dan  $MgO$  5-15% (Prasetyo & Ronald, 2011). Diagram alir proses umum pengolahan bijih nikel laterit dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram alir proses umum pengolahan bijih nikel laterit (Rodriguez, 2013)

### 2.2.1 Jalur Pengolahan Pirometalurgi

Pirometalurgi merupakan suatu proses pengolahan atau ekstraksi logam yang menggunakan energi panas secara intens. Jalur pengolahan pirometalurgi melibatkan beberapa proses yaitu pengeringan bijih, kalsinasi, dan proses peleburan (*smelting*). Penggunaan energi dan temperatur yang tinggi dapat menghasilkan perolehan (*recovery*) nikel yang cukup tinggi (90-95%) dengan tingkat perolehan kobalnya cukup rendah (<50%). Proses peleburan ini umumnya memanfaatkan jenis bijih saprolit sebagai umpan karena kadar nikel, besi, dan rasio magnesium terhadap siliknya memadai (Arif, 2018). Skema pengolahan pirometalurgi dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skema pengolahan pirometalurgi (Kyle, 2010)

Kelebihan dari pengolahan jalur pirometalurgi adalah (Kyle, 2010):

1. Prosesnya sederhana dan terbukti dengan baik.
2. Dapat menangani bijih nikel laterit dengan kandungan magnesium yang tinggi.
3. Residu berbentuk granular dan mudah dibuang.
4. Reagen umumnya tidak mahal.

Kekurangan dari pengolahan jalur pirometalurgi adalah (Kyle, 2010):

1. Membutuhkan modal yang tinggi
2. Penggunaan energi dan ekonomi proyek sangat sensitif terhadap biaya listrik
3. Hanya dapat menangani bijih nikel laterit dengan kandungan magnesium tinggi sehingga diperlukan *blending* untuk menjaga rasio  $\text{SiO}_2/\text{MgO}$ .
4. Kobalt tidak ditemukan sebagai produk terpisah.

#### 2.2.2 Jalur Pengolahan Hidrometalurgi

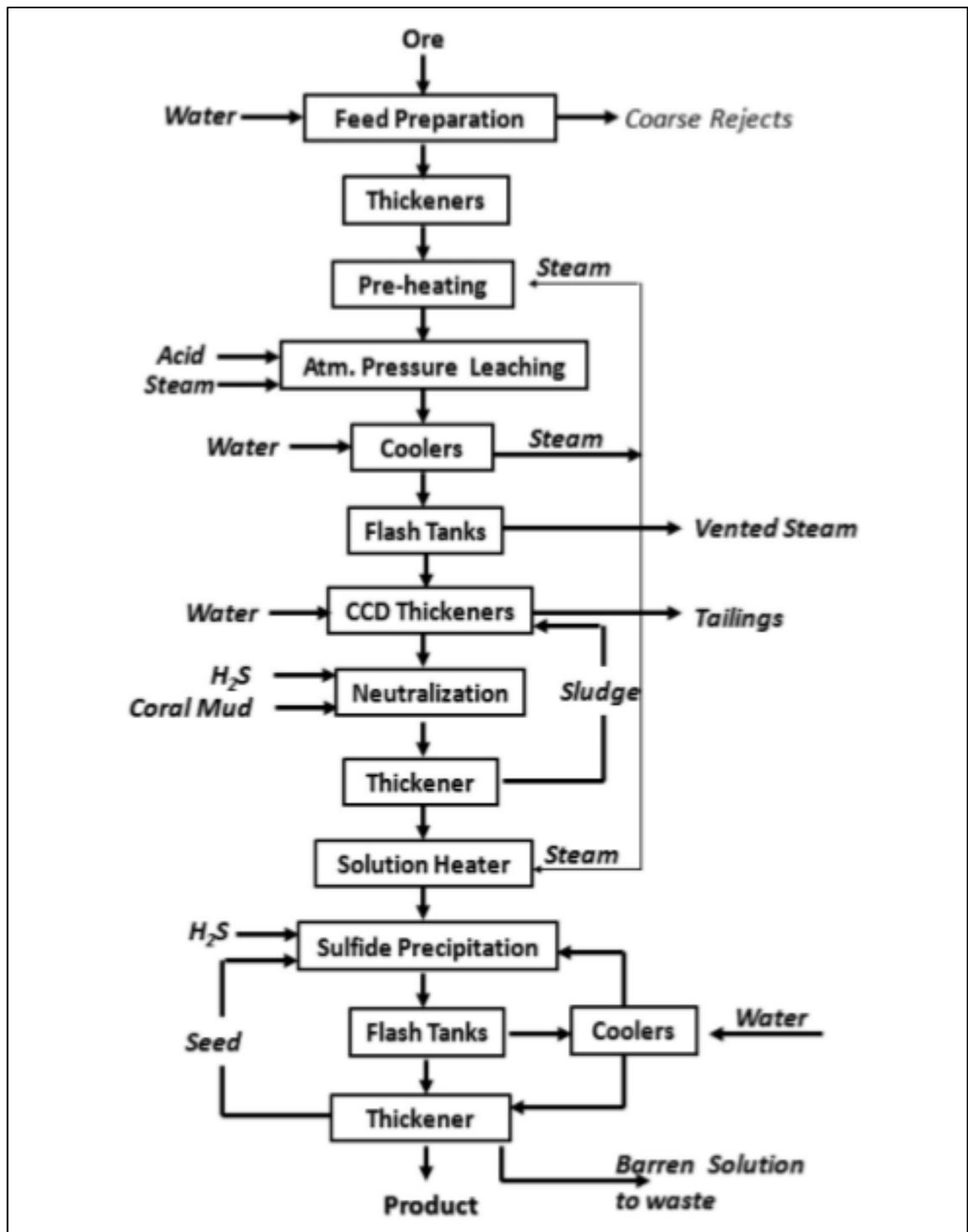
Hidrometalurgi merupakan proses pengolahan atau ekstraksi logam berharga dari bijih menggunakan media cair atau larutan pada kondisi bertekanan atmosfer. Proses ini umumnya menggunakan asam sulfat pekat sebagai media *leaching* karena ketersediaan asam sulfat dalam volume besar. Metode ini menggunakan bijih nikel laterit kadar rendah (limonit) sebagai umpan dan mendapatkan kelebihan dari adanya kandungan kobalt yang relatif lebih tinggi pada bijih limonit. Kadar besi yang tinggi pada limonit tidak menjadi kendala, namun kadar magnesium tetap dijaga pada level rendah untuk efisiensi penggunaan asam (Arif, 2018).

Proses pengolahan jalur hidrometalurgi menghasilkan produk yaitu *mixed hydroxide precipitate* (MHP) dan *mixed sulphide precipitate* (MSP). MHP umumnya mengandung nikel dengan konsentrasi 40% dan kobalt 1,5%, sementara MSP mengandung 55% Ni dan kadar air yang lebih rendah. Teknologi yang terbukti untuk mengolah bijih nikel laterit melalui jalur hidrometalurgi antara lain *High Pressure Acid Leaching* (HPAL), *Enhanced Pressure Acid Leaching* (EPAL), *Atmospheric Leaching* (AL), dan *Heap Leaching* (HL) (Arif, 2018).

##### a. *High Pressure Acid Leaching* (HPAL)

*High Pressure Acid Leaching* (HPAL) merupakan pelindian pada tekanan tinggi dalam larutan asam yang pertama kali diterapkan pada skala industri di Moa Bay, Kuba sejak 1959 untuk mengekstraksi bijih nikel laterit dengan kandungan magnesium rendah

dan aluminium rendah. Pabrik di Moa Bay sukses beroperasi selama 30 tahun. Pabrik tersebut mengolah bijih dengan komposisi mineral 70% goetit, 20% gipsit, dan 10% serpentin serta kuarsa (Arif, 2018). Diagram alir HPAL di Moa Bay dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Diagram alir HPAL di Moa Bay (Meshram et al., 2019)

Kelebihan dari HPAL adalah (Kyle, 2010):

1. Dapat diterapkan untuk bijih nikel laterit kadar rendah ( $Ni < 1,5\%$ ).
2. Memiliki fleksibilitas yang besar terhadap jenis bijih.
3. *Recovery* kobalt umumnya  $>95\%$  dan dapat diperoleh sebagai produk terpisah.
4. Uap pembakaran sulfur dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik.
5. Proses pengeringan bijih dan kalsinasi energi yang intensif dihilangkan.
6. Beberapa bijih dapat ditingkatkan kadarnya dengan melakukan penyaringan sebelum diproses.
7. Proses ini dapat digunakan dalam lingkungan air laut.

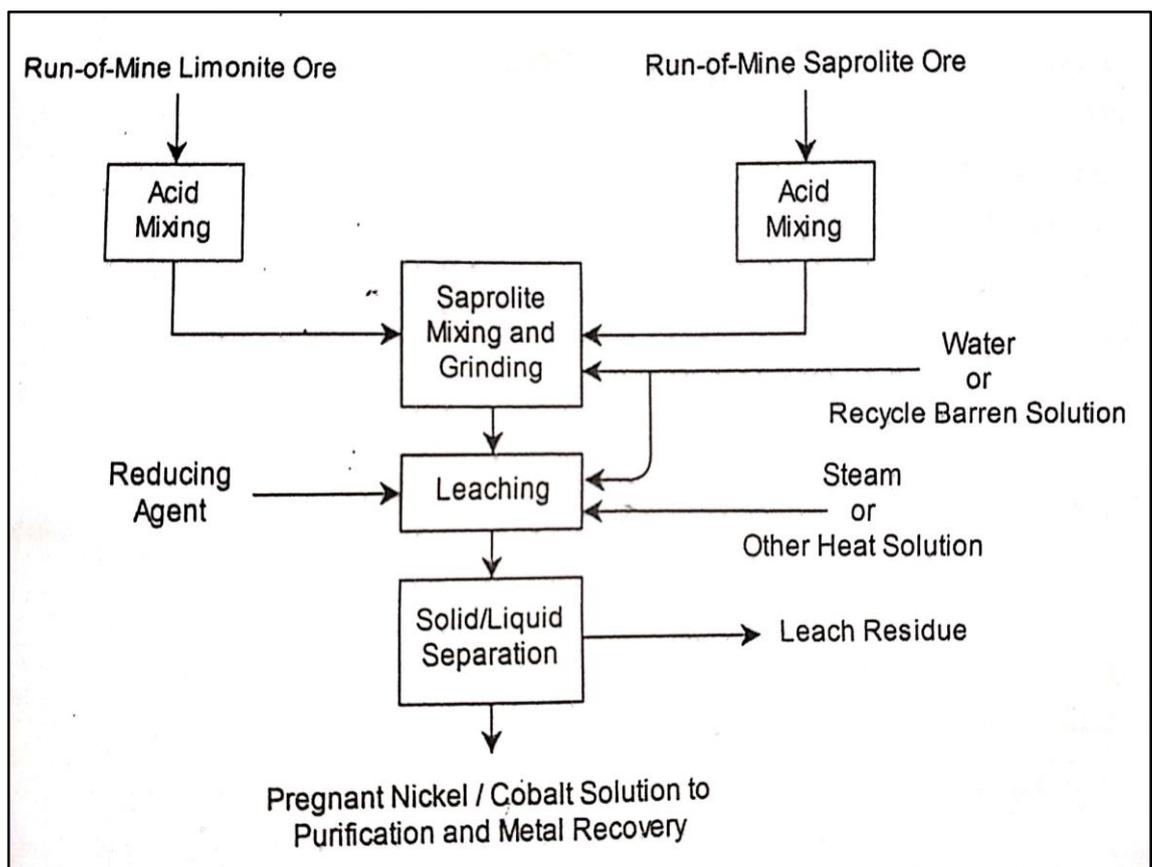
Kekurangan dari HPAL adalah (Kyle, 2010):

1. Kurang ekonomis untuk diterapkan pada lapisan saprolit yang mengandung konsentrasi tinggi karena banyak menggunakan asam.
2. Pelindian asam bertekanan tinggi sangat korosif dan membutuhkan material konstruksi dan pemeliharaan yang mahal.
3. Tingkat pengotor tinggi dalam cairan lindi menyebabkan pengolahan lebih mahal untuk produksi nikel dan kobalt.
4. Menghasilkan limbah yang cukup banyak.

b. *Atmospheric Leaching* (AL)

*Atmospheric leaching* (AL) adalah proses mengekstraksi suatu material yang dapat larut dari suatu padatan dengan menggunakan pelarut pada tekanan atmosfer. Proses kimia dari AL dengan pencucian asam bersuhu rendah umumnya dibawah  $100^{\circ}\text{C}$  dengan tekanan atmosfer. Suhu yang lebih rendah dengan kondisi tekanan atmosfer menghindari kebutuhan *autoclave* 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 (McDonald *and* Whittington, 2008).

Proses AL pada bijih laterit (baik limonit dan saprolit) menggunakan larutan asam mineral terkonsentrasi (biasanya asam sulfat) untuk melarutkan sebagian atau seluruh besi dan nikel menjadi larutan. Proses ini dilakukan tepat di bawah titik didih cairan pada tekanan atmosfer dan temperatur sekitar 100°C dengan waktu pelindian hingga 12 jam (Kyle, 2010). Ekstraksi nikel dan kobalt umumnya dalam kisaran 85-95% dan konsumsi asam bervariasi antara 700-1.000 kg/ton bijih tergantung pada mineralogi dan jenis tambahan proses lainnya. Beberapa penelitian melaporkan bahwa asam sulfat umumnya digunakan sebagai *lixiviant* yang efektif untuk ekstraksi nikel dari bijih serpentin daripada asam mineral lainnya (Teir *et al.*, 2007). Metode ekstraksi *atmospheric leaching* menarik karena biaya operasional metode ini dinilai cukup ekonomis karena bisa disesuaikan untuk deposit bijih skala kecil (Saka, 2014). Diagram alir pelindian bertahap proses *atmospheric leaching* pada proyek FeNix Guatemala dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Diagram alir pelindian bertahap proses *atmospheric leaching* pada proyek FeNix Guatemala (LAPI ITB, 2013)

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

### 1. 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.

### 2. 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.

### 3. Sulfatisasi Bijih

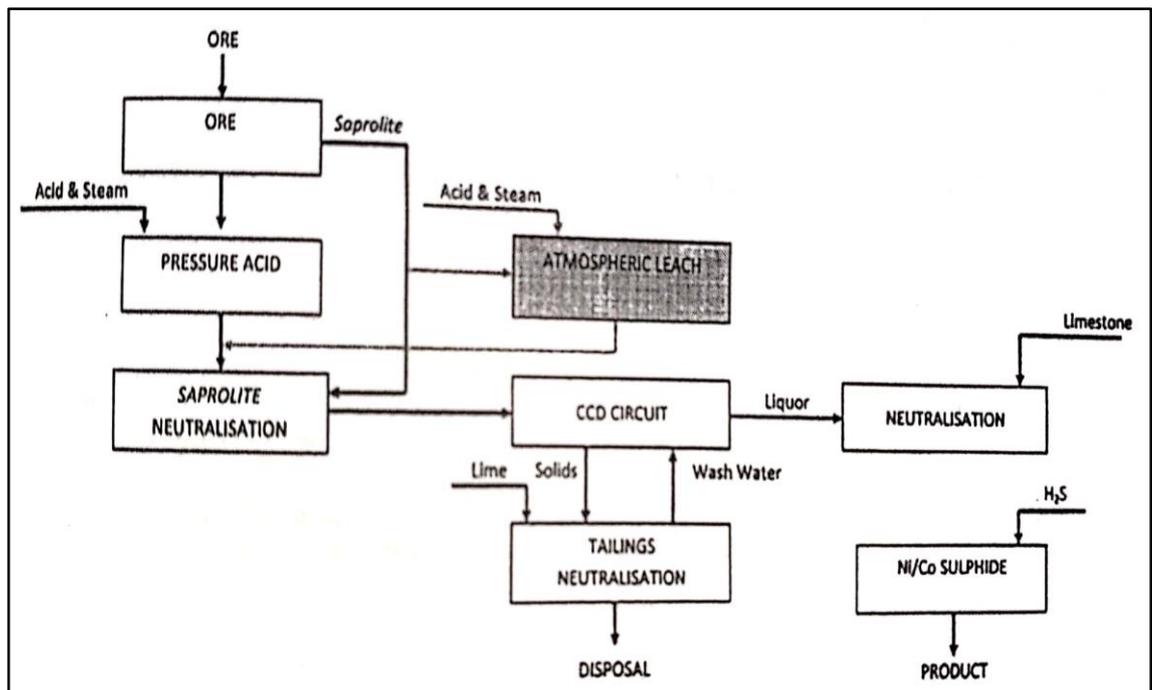
Proses sulfatisasi bijih dilakukan dengan mencampur bijih dan asam sulfat pekat yang diikuti dengan pemanggangan campuran tersebut pada suhu 500-725°C untuk mengonversi *ferric sulphate* menjadi hematit. Konsentrasi asam sulfat untuk sulfatisasi bergantung pada komposisi bijih, khususnya kandungan besi dan magnesium. Proses sulfatisasi bijih ini diharapkan dapat mengurangi konsumsi asam karena besi telah dikonversi terlebih dahulu menjadi bentuk yang tidak larut dalam proses pelindian.

#### 4. Pelindian Bertahap

Pada prosesnya, pelindian tahap pertama adalah pelindian 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.

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

*Enhanced pressure acid leaching (EPAL)* merupakan proses kombinasi antara HPAL dan AL yang bertujuan untuk menurunkan *capital expenditure (CAPEX)* dengan mengurangi jumlah *autoclave* dan menurunkan total konsumsi asam dalam pelindian yang merupakan penyumbang terbesar biaya operasi. Penurunan konsumsi asam dilakukan dengan mereaksikan liquor hasil pelindian dalam PAL dan sejumlah bijih saprolit. Proses ini bisa membutuhkan jumlah saprolit yang lebih banyak dibandingkan HPAL konvensional (Arif, 2018). Diagram alir EPAL di Weda Bay dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Diagram alir EPAL di Weda Bay (LAPI ITB, 2013)

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).

Biaya kapital dan operasional proses ini berada di antara HPAL dan AL. Besarnya biaya kapital bergantung pada proporsi saprolit yang dilindi dalam tekanan atmosfer yang berimplikasi pada penurunan jumlah *autoclave* dan peralatan pendukung yang diperlukan dalam kegiatan *pressure leaching* (Arif, 2018)

d. *Heap Leaching* (HL)

Proses *heap leaching* adalah pengolahan nikel laterit dengan cara 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 terjadi. Untuk menghindari hal tersebut, umumnya bijih terlebih dahulu diaglomerasi. Proses aglomerasi yaitu mengubah bijih menjadi berbentuk pelet kemudian ditambahkan asam dan air. Proses pelindian dilakukan pada suhu kamar dan berlangsung sekitar 3–12 bulan. Proses *heap leaching* tidak memerlukan proses pemisahan padatan seperti pada proses HPAL 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).

Ditinjau dari aspek ekonomi, proses *heap leaching* lebih ekonomis dibandingkan dengan proses pengolahan lainnya. Hal ini disebabkan karena biaya pengadaan peralatan untuk *grinding*, agitasi, dan pemisahan padatan-cairan tidak diperlukan. Tetapi dampak lingkungan dari proses ini lebih dititikberatkan pada kebocoran asam dan *liquor* dari tumpukan bijih ke area dengan jarak tertentu. Masalah kebocoran dapat ditimbulkan dari tidak baiknya perancangan landasan pelindian (Arif, 2018).

Proses *heap leaching* hingga saat ini belum diaplikasikan secara nyata dalam dunia industri serta hanya terbatas pada *demonstration plants* dan *advanced project* seperti di Caldag, Turki dan beberapa proyek di Australia. Risiko yang harus dihadapi dari proses ini adalah risiko perolehan logam yang minim, waktu proses yang lama, dan permeabilitas *heap*. Selain itu, *heap leaching* dipengaruhi juga oleh cuaca (Arif, 2018)

### 2.2.3 Jalur Pengolahan Caron

Proses pengolahan caron adalah proses ekstraksi nikel dari bijih laterit melalui proses pemanggangan reduksi yang diikuti proses pelindian dalam larutan berbasis amoniak. Pada umumnya, proses caron diaplikasikan khusus untuk bijih laterit dengan kandungan besi yang tinggi seperti limonit atau campuran limonit-saprolit (LAPI-ITB, 2013).

Beberapa tahap dalam proses caron adalah sebagai berikut (LAPI-ITB, 2013):

1. Pengeringan dan penggerusan (*drying and grinding*)

Bijih limonit dan saprolit dikeringkan dalam *rotary dryer* untuk mengurangi kandungan airnya dari 30-50% menjadi sekitar 2-3%. Penggerusan dilakukan untuk mereduksi ukuran partikelnya menjadi 200 *mesh*.

2. Pemanggangan reduksi (*reduction roasting*)

Pemanggangan reduksi dilakukan dengan menggunakan minyak dan gas reduktor pada temperatur 850°C sehingga seluruh oksida nikel dan sekitar 10% oksida besi dapat direduksi menjadi logam. Tujuan dari proses ini adalah untuk

mengubah nikel menjadi suatu bentuk yang dapat dilarutkan dalam larutan amoniak dan juga agar dapat dipisahkan dari besi yang tidak terlarut.

### 3. Pelindian (*leaching*)

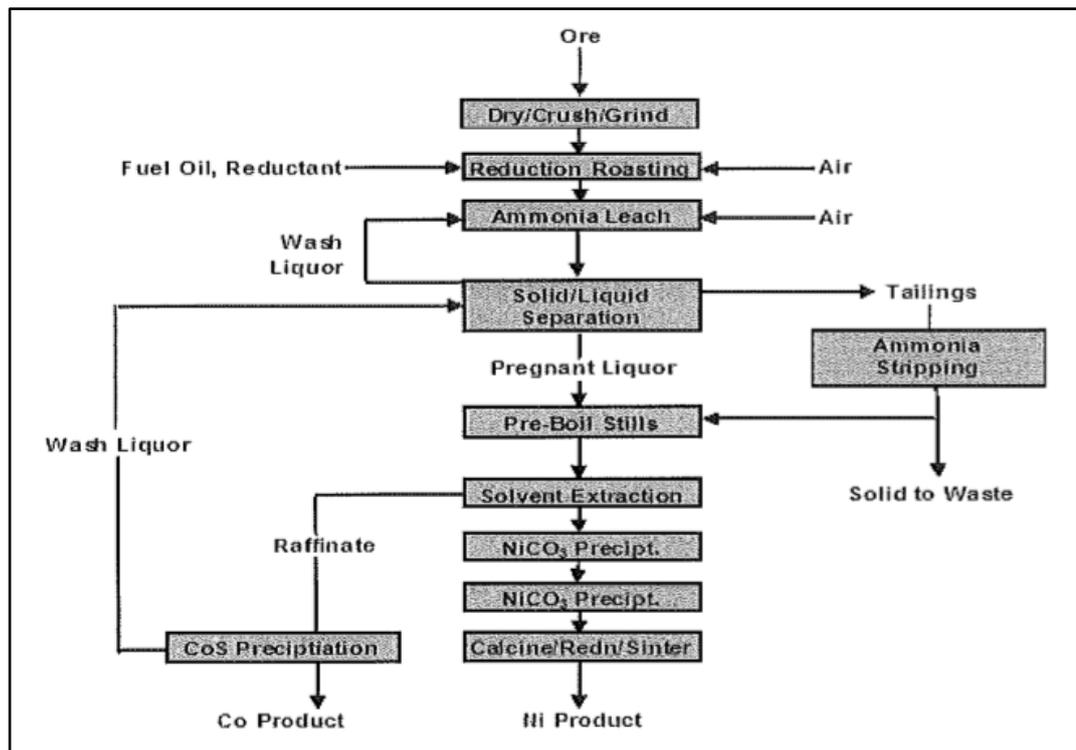
Bijih kemudian didinginkan dan dilakukan proses pelindian menggunakan larutan ammonia atau ammonium karbonat. Di dalam larutan ini, nikel dan kobalt akan membentuk senyawa kompleks dengan ammonia dalam keadaan stabil, sementara besi teroksidasi menjadi  $Fe^{3+}$  dan mengendap sebagai besi hidroksida.

### 4. Pemisahan nikel dan kobalt (*separation*)

Pemisahan nikel dan kobalt dilakukan dengan menggunakan ekstraksi pelarut dalam larutan LIX dan Cyanex.

### 5. Kalsinasi

Proses ini bertujuan untuk mengubah nikel karbonat menjadi nikel oksida. Nikel oksida direduksi oleh gas hidrogen sehingga menjadi nikel murni (99% Ni). Skema alur proses caron dapat dilihat pada Gambar 2.7.



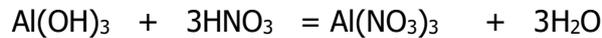
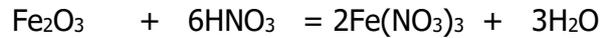
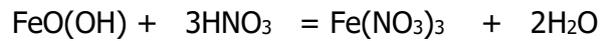
Gambar 2.7 Skema alur proses caron (Kyle, 2010)

### **2.3 Atmospheric Leaching dengan Asam Nitrat (HNO<sub>3</sub>)**

Proses pengolahan hidrometalurgi dengan metode *atmospheric leaching* menggunakan asam (*lixiviant acid*) seperti asam sulfat, asam klorida, dan asam nitrat menjadi berkembang pesat seiring dengan meningkatnya kebutuhan untuk pengolahan bijih limonit berkadar rendah yang memiliki kandungan air tinggi (25-50%). Kisaran suhu yang cukup rendah dari proses *leaching* (25-275°C) secara signifikan dapat menurunkan biaya operasional. Proses pengolahan ini juga lebih ramah lingkungan karena tidak melepaskan gas beracun seperti SO<sub>2</sub>. Kemampuan untuk mengekstraksi kobalt secara efisien menyebabkan proses ini menjadi lebih layak untuk pengolahan bijih limonit yang banyak mengandung kobalt (Gupta and Mukherjee, 1991).

Upaya pengembangan metode *atmospheric leaching* untuk pengolahan bijih nikel limonit telah dilakukan secara intensif. Beberapa studi dan riset percobaan skala laboratorium dari metode ini telah dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan model ekstraksi nikel-kobalt lebih efektif dan efisien. Uji ekstraksi ini dilakukan dengan menggunakan parameter seperti suhu, waktu, volume larutan, konsentrasi asam pelarut yang digunakan (Dry, 2015). Pelindian dengan berbagai asam seperti asam sulfat, asam klorida dan asam nitrat pada tekanan atmosfer telah dilakukan beberapa peneliti sebelumnya yang menunjukkan bahwa asam sulfat merupakan asam yang paling efektif karena cukup korosif untuk mengubah struktur mineral silikat sehingga mampu melarutkan nikel (Prasetyo, 2016). Perkembangan selanjutnya dengan penggunaan jenis asam lainnya seperti asam nitrat, asam klorida dan beberapa asam organik menunjukkan ekstraksi Ni dan Co yang tinggi dari bijih yang mengandung limonit dan saprolit (Saka, 2014). Peneliti lain juga menemukan adanya kelebihan *atmospheric leaching* dengan menggunakan asam nitrat. *Atmospheric leaching* dengan metode *direct nickel process* dapat mendaur ulang +95% asam nitrat untuk digunakan kembali dengan teknologi

paten US 6264909 "Nitric Acid Production and Recycle" (McCarthy, 2017). Reaksi kimia yang terjadi ketika ekstraksi limonit dengan metode *atmospheric leaching* menggunakan asam nitrat seperti terlihat dibawah



Saka (2014) melakukan penelitian tesis uji ekstraksi *atmospheric leaching* menggunakan pelarut asam nitrat untuk nikel dan kobalt dari kombinasi tipe bijih laterit (limonit 70% dan nontronit 30%) Gordes/Manisa, Turki. Bijih limonit mengandung Ni 1,28%, Co 0,083%, Fe 28,70%, As 0,68%, Al 3,09%, Mg 1,36%, Cr 1,36% dan SiO<sub>2</sub> 28,80%. Sedangkan bijih nontronit mengandung Ni 1,20%, Co 0,068%, Fe 15,95%, As 0,02%, Al 2,80%, Mg 4,15%, Cr 0,36% dan SiO<sub>2</sub> = 44,90%. Hasil uji ekstraksi didapatkan kondisi optimum *leaching* yaitu pada temperatur 104°C dengan konsentrasi 378 g/l asam nitrat, 48 jam percobaan, ukuran partikel -600 um, rasio S/L 1/5 wt/vol. *Recovery* yang dihasilkan untuk nikel dan kobalt masing-masing 95,4% dan 96,6%. Perhitungan konsumsi asam nitrat yang diperlukan sebanyak 1.282 kg/ton bijih.

Fathoni dan Mubarak (2015) melakukan penelitian uji ekstraksi *atmospheric leaching* dengan asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) pada material bijih nikel laterit limonit dari Pulau Halmahera yang mengandung Ni 1,08%, Fe 25,91%, SiO<sub>2</sub> 39,31%, MgO 7,68%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5,27%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 37,01%, MnO 0,54%, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1,6%, CaO = 0,27%, K<sub>2</sub>O = 0,011%. Mineral bijih didominasi oleh *quartz* (SiO<sub>2</sub>) dan *goethite* (FeO(OH)) yang diikuti oleh *hematite* (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), *antigorite* (Mg<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>) dan *pyrochroite* (Mn(OH)<sub>2</sub>). Hasil uji ekstraksi nikel yang tertinggi dicapai dengan waktu 8 jam pada konsentrasi asam 6 molar, 10% padatan dan temperatur 95°C yaitu 94% Ni dengan konsumsi asam mencapai 970 kg/ton bijih. Variabel yang paling berpengaruh dalam proses pelindian adalah temperatur dengan persen kontribusi mencapai 78%.