

# **SKRIPSI**

## **STUDI EKSTRAKSI NIKEL DAN KOBALT DARI BIJIH LIMONIT DENGAN METODE KALSINASI DAN *ATMOSPHERIC LEACHING* MENGUNAKAN LARUTAN ASAM SULFAT**

(Studi Kasus: Bijih Nikel Laterit Daerah Latowu, Kecamatan Batuputih,  
Kabupaten Kolaka Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara)

**Disusun dan diajukan oleh**

**MUHAMMAD AGUNG RIYADI**

**D621 15 306**



**DEPARTEMEN TEKNIK PERTAMBANGAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2021**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**STUDI EKSTRAKSI NIKEL DAN KOBALT DARI BIJIH LIMONIT  
DENGAN METODE KALSINASI DAN *ATMOSPHERIC LEACHING*  
MENGUNAKAN LARUTAN ASAM SULFAT**

**Disusun dan diajukan oleh**

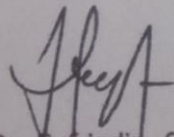
**MUHAMMAD AGUNG RIYADI  
D62115306**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 1 Maret 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

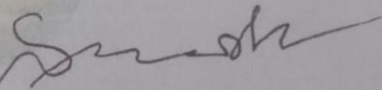
Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Sufradin, S.T., M.T.

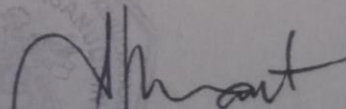
NIP. 196608172000121001



Dr. Phil.nat. Sri Widodo, S.T., M.T.

NIP. 197101012012121001

Ketua Program Studi,



Dr. Eng. Purwanto, S.T., M.T., IPM.

NIP. 197111282005011002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Agung Riyadi  
NIM : D62115306  
Program Studi : Teknik Pertambangan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

STUDI EKSTRAKSI NIKEL DAN KOBALT DARI BIJIH LIMONIT DENGAN  
METODE KALSINASI DAN *ATMOSPHERIC LEACHING* MENGGUNAKAN  
LARUTAN ASAM SULFAT

adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain 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, 16 Februari 2021

Yang menyatakan



Muhammad Agung Riyadi

## ABSTRAK

Nikel laterit adalah bijih nikel yang merupakan 70% dari cadangan nikel dunia. Indonesia merupakan salah satu produsen nikel utama dunia dan memiliki potensi cadangan mencapai 1,6 milyar ton atau sekitar 12% dari total cadangan nikel di dunia dengan kandungan nikel rata-rata mencapai 1,57%. Kandungan unsur kobalt yang ada pada bijih limonit limonit tidak dapat diekstrak dengan menggunakan metode pirometalurgi. Kandungan kobalt dapat diekstraksi dengan menggunakan metode hidrometalurgi. Metode hidrometalurgi merupakan proses pengolahan bijih dengan menggunakan pelarut asam untuk mendapatkan logam berharga seperti pada bijih limonit serta dapat mengekstrak logam lain selain nikel. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik bijih nikel laterit dan besar *recovery* nikel dan kobalt dari proses kalsinasi dan pelindian dengan metode *atmospheric leaching* menggunakan asam sulfat. Mineral yang terdapat pada sampel bijih nikel laterit didominasi oleh talk, kuarsa dan goetit. Sampel kemudian dikalsinasi sehingga mineral goetit berubah menjadi mineral hematit akibat proses dehidroksilasi mineral goetit setelah dikalsinasi. Laju disolusi goetit, hematit dan kuarsa sangat rendah, sedangkan talk tidak larut pada proses pelindian berlangsung. *Recovery* nikel tertinggi diperoleh pada kondisi asam sulfat 2 molar sebesar 23,58% dan waktu pelindian 5 jam dengan *recovery* sebesar 23,58%. *Recovery* kobalt tertinggi diperoleh pada asam sulfat 2 molar sebesar 5,57%, sementara waktu pelindian selama 20 jam diperoleh *recovery* tertinggi sebesar 7,73%.

Kata Kunci: Limonit, nikel, kobalt, kalsinasi, *atmospheric leaching*, asam sulfat

## **ABSTRACT**

*Nickel laterite is a nickel ore which constitutes 70% of the world's nickel reserves. Indonesia is one of the world's main nickel producers and has potential reserves of up to 1.6 billion tons or around 12% of the world's total nickel reserves with an average nickel content of 1.57%. The content of cobalt present in the limonite ore cannot be extracted using the pyrometallurgical method. Cobalt content can be extracted using the hydrometallurgical method. The hydrometallurgical method is a processing of the ore using acidic solvents to obtain valuable metals such as limonite ore and to extract the other metals than nickel. This study was conducted to determine the characteristics of laterite nickel ore and the amount of nickel and cobalt recovery from the calcination and leaching process using the atmospheric leaching method by sulfuric acid. Minerals contained in laterite nickel ore samples were dominated by talc, quartz and goethite. The sample was then calcined so that the goethite minerals turned into a hematite due to the dehydroxylation of goethite minerals after calcination. The dissolution rates of goethite, hematite and quartz were very low, while talc was not dissolved during the leaching process. The highest nickel recovery was found in 2 molar sulfuric acid concentration with recovery of 23.58% and 5 hours leaching time with recovery of 23.58%. The highest recovery of cobalt was found in 2 molar sulfuric acid concentration with recovery of 5.57% and recovery of 7.73% was obtained during 20 hours leaching.*

*Keywords: Limonite, nickel, cobalt, calcination, atmospheric leaching, sulfuric acid*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi berjudul "Studi Ekstraksi Nikel Dan Kobalt Dari Bijih Limonit Dengan Metode Kalsinasi Dan *Atmospheric Leaching* Menggunakan Larutan Asam Sulfat". Penulis menyadari bahwa dalam proses penulisan skripsi ini banyak mengalami kendala, namun berkat bantuan, bimbingan kerjasama dari berbagai pihak dan berkah dari Allah SWT sehingga kenda-kendala yang dihadapi tersebut dapat diatasi. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Bapak Dr. Sufriadin, ST., MT. dalam hal ini sebagai Dosen Pembimbing I, dan Bapak Dr. phil. nat. Sri Widodo, ST., MT. dalam hal ini sebagai Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk penulis dalam membimbing dan mengarahkan penulis hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
2. Ibu Rosdiana dan Bapak Muhammadong selaku orang tua yang selalu memberikan dukungan dan doa kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Saudara dan keluarga yang selalu memberikan doa dan dukungan kepada saya dalam bentuk apapun untuk menyelesaikan studi saya di Departemen Teknik Pertambangan.
4. Rekan-rekan mahasiswa yang tidak dapat disebut satu persatu yang telah memberikan, saran, dukungan, dan masukan.

Penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada semua pihak dengan harapan skripsi ini dapat bermanfaat. Penulis juga mengharapkan para pembaca dan penyimak memberi kritik dan saran pada laporan tugas akhir ini sehingga laporan ini dapat digunakan sebagai acuan untuk penelitian yang lebih lanjut. Bagi semua pihak yang telah membantu dalam penelitian tugas akhir ini semoga segala amal dan kebaikannya

mendapatkan balasan yang berlimpah dari Allah SWT. Akhir kata, apabila terdapat kesalahan penulisan dan tata bahasa, penulis mohon maaf.

Gowa, 16 Februari 2020

Muhammad Agung Riyadi

# DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN SAMBUNG</b> .....	i
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah .....	3
1.6 Lokasi dan Kesempaan Daerah Penelitian .....	3
1.7 Tahapan Penelitian.....	4
<b>BAB II EKSTRAKSI NIKEL DAN KOBALT DARI BIJIH LIMONIT</b> .....	6
2.1 Nikel .....	6
2.2 Kobalt .....	7
2.3 Endapan Nikel Laterit .....	10



2.4 Pengolahan Bijih Nikel Laterit .....	15
2.5 Hidrometalurgi Nikel Laterit.....	20
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>23</b>
3.1 Alat dan Bahan .....	23
3.2 Variabel Penelitian.....	24
3.3 Prosedur Penelitian .....	25
3.4 Diagram Alir Penelitian .....	32
<b>BAB IV KARAKTERISTIK DAN HASIL PELINDIAN BIJIH LIMONIT .....</b>	<b>34</b>
4.1 Karakteristik Bijih Nikel Laterit Zona Limonit.....	34
4.2 Analisis Sampel Hasil Kalsinasi.....	37
4.3 Residu Hasil Penelitian.....	39
4.4 <i>Recovery</i> Hasil Pelindian .....	41
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>56</b>
5.1 Kesimpulan.....	56
5.2 Saran.....	57
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>58</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>60</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Lokasi Pengambilan Sampel .....	4
2.1 Penggunaan Nikel di Amerika Serikat .....	7
2.2 Penggunaan Kobalt.....	8
2.3 Pengolahan Nikel Berdasarkan Kandungan Kimia Pada Lapisan Nikel Laterit...	16
3.1 Proses kuartering sampel.....	26
3.2 Proses penggerusan sampel menggunakan <i>agate mortar</i> .....	26
3.3 Ayakan 200 mesh (75 micron).....	27
3.4 AAS <i>Buck Scientific 205 Version 3.94C</i> .....	28
3.5 XRD tipe Shimadzu Maxima-X XRD 7000 .....	29
3.6 <i>Furnace</i> digunakan untuk proses kalsinasi sampel .....	30
3.7 <i>Stirring Hot Plate</i> Corning PC-4200 .....	31
3.8 Diagram Alir Penelitian .....	34
4.1 Grafik hasil XRD sampel bijih nikel laterit zona limonit .....	35
4.2 Perbandingan Mineral Bijih Limonit Sebelum dan Setelah Kalsinasi.....	37
4.3 Difraktogram XRD Residu Hasil Pelindian dengan Variabel Waktu Berbeda .....	39
4.4 Difraktogram XRD Residu Hasil Pelindian dengan Variabel Molaritas Berbeda .	40
4.5 Grafik korelasi absorban dengan konsentrasi Ni pada larutan standar.....	42
4.6 Grafik hubungan antara <i>recovery</i> Ni dengan molaritas larutan .....	45
4.7 Grafik hubungan antara <i>recovery</i> Ni dengan waktu pelindian.....	47
4.8 Grafik korelasi absorban dengan konsentrasi Co pada larutan standar .....	49
4.9 Grafik hubungan antara <i>recovery</i> Co dengan molaritas larutan .....	52
4.10 Grafik hubungan antara <i>recovery</i> Co dengan waktu pelindian.....	54

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>		<b>Halaman</b>
2.1	Sifat fisik nikel .....	6
4.1	Komposisi mineral bijih nikel laterit zona limonit.....	35
4.2	Hasil analisis kadar nikel dan kobalt dari sampel bijih limonit.....	36
4.3	Perbandingan Komposisi Mineral Bijih Limonit Sebelum dan Setelah Kalsinasi .	37
4.4	Kadar Nikel dan Kobalt Setelah Proses Kalsinasi .....	38
4.5	Larutan Deret Standar Ni .....	42
4.6	Kadar Ni pada sampel awal bijih limonit .....	43
4.7	Hasil analisis Kadar Ni untuk sampel pregnant solution hasil pelindian .....	44
4.8	<i>Recovery</i> Ni hasil pelindian dengan parameter uji molaritas larutan.....	45
4.9	<i>Recovery</i> Ni hasil pelindian dengan parameter uji waktu pelindian .....	47
4.10	Larutan Deret Standar Co .....	49
4.11	Kadar Co pada sampel awal bijih limonit .....	50
4.12	Hasil analisis Kadar Co untuk sampel pregnant solution hasil pelindian .....	51
4.13	<i>Recovery</i> Co hasil pelindian dengan parameter uji molaritas larutan .....	52
4.14	<i>Recovery</i> Co hasil pelindian dengan parameter uji waktu pelindian.....	54

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A Hasil XRD .....	61
B Hasil AAS .....	67
C Perhitungan Kadar Ni dan Co.....	70
D <i>Laju Pelindian</i> Nikel dan Cobalt.....	75

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Nikel laterit adalah bijih nikel yang merupakan 70% dari cadangan nikel dunia. Indonesia merupakan salah satu produsen nikel utama dunia dan memiliki potensi cadangan mencapai 1,6 milyar ton atau sekitar 12% dari total cadangan nikel di dunia dengan kandungan nikel rata-rata mencapai 1,57% (Dalvi dkk., 2004). Bijih limonit merupakan endapan nikel laterit dengan kadar yang rendah sehingga seringkali dijadikan sebagai *overburden* karena kurangnya teknologi dalam pengolahan nikel kadar rendah. Volume limonit biasanya lebih besar 2 – 3 kali volume saprolit.

Kandungan unsur kobalt yang ada pada lapisan limonit tidak dapat diekstrak dengan menggunakan metode pirometalurgi. Padahal, harga kobalt lebih dari dua kali lipat harga nikel. Potensi nikel dan kobalt pada lapisan limonit seharusnya dapat dimanfaatkan dengan menggunakan metode hidrometalurgi.

Metode hidrometalurgi merupakan proses pengolahan bijih dengan menggunakan pelarut asam untuk mendapatkan logam berharga pada bijih limonit serta dapat mengekstrak logam lain selain nikel. Lapisan limonit memiliki kandungan magnesium yang relatif lebih sedikit sehingga cocok dalam pemakaian larutan asam untuk melarutkan mineral berharganya. Selain itu, pemakaian larutan asam juga dapat meningkatkan *recovery* nikel dan kobalt dengan pemakaian energi yang lebih rendah. Pelindian dengan berbagai asam seperti asam sulfat, asam klorida dan asam nitrat pada tekanan atmosfer telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya dan membuktikan bahwa asam sulfat yang digunakan merupakan asam yang paling efektif

sebab cukup korosif untuk mengubah struktur mineral silikat sehingga mampu melarutkan nikel, mudah didapatkan dan harga jualnya lebih murah (Prasetyo, 2016)

Hasil Penelitian yang telah dilakukan oleh Sufriadin dkk (2020) menunjukkan bahwa *recovery* nikel yang tertinggi mencapai angka 24,17% pada waktu pelindian 90 menit, namun *recovery* kobalt tertinggi yaitu 56,53% pada waktu pelindian 90 menit. Hasil tersebut menunjukkan *recovery* yang relatif rendah dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya. Maka dari itu, pada penelitian ini akan ditambahkan proses kalsinasi serta menggunakan pelarut asam sulfat dengan harapan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan dan alternatif dalam pengolahan bijih nikel laterit kadar rendah.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Bijih limonit tonasenya dua sampai tiga kali lebih besar dibanding dengan bijih saprolit dengan kompleksitas yang tinggi. Bijih limonit juga mengandung kobalt yang tidak dapat di *recovery* dengan cara konvensional. Maka, rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana komposisi kimia dan mineral dari bijih limonit?
2. Bagaimana tingkat disolusi mineral akibat proses pelindian dengan menggunakan larutan asam sulfat?
3. Berapa tingkat perolehan Ni dan Co dengan proses pelindian menggunakan larutan asam sulfat?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui komposisi kimia dan mineral dari bijih limonit

2. Menganalisis tingkat disolusi mineral akibat proses pelindian dengan menggunakan larutan asam sulfat.
3. Menghitung tingkat perolehan Ni dan Co dengan proses pelindian menggunakan larutan asam sulfat.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini berguna untuk dijadikan rujukan dalam proses ekstraksi nikel dan kobalt dari bijih nikel laterit terutama yang berada pada lapisan limonit sehingga dapat diolah dan diekstraksi secara efektif.

#### **1.5 Batasan Masalah**

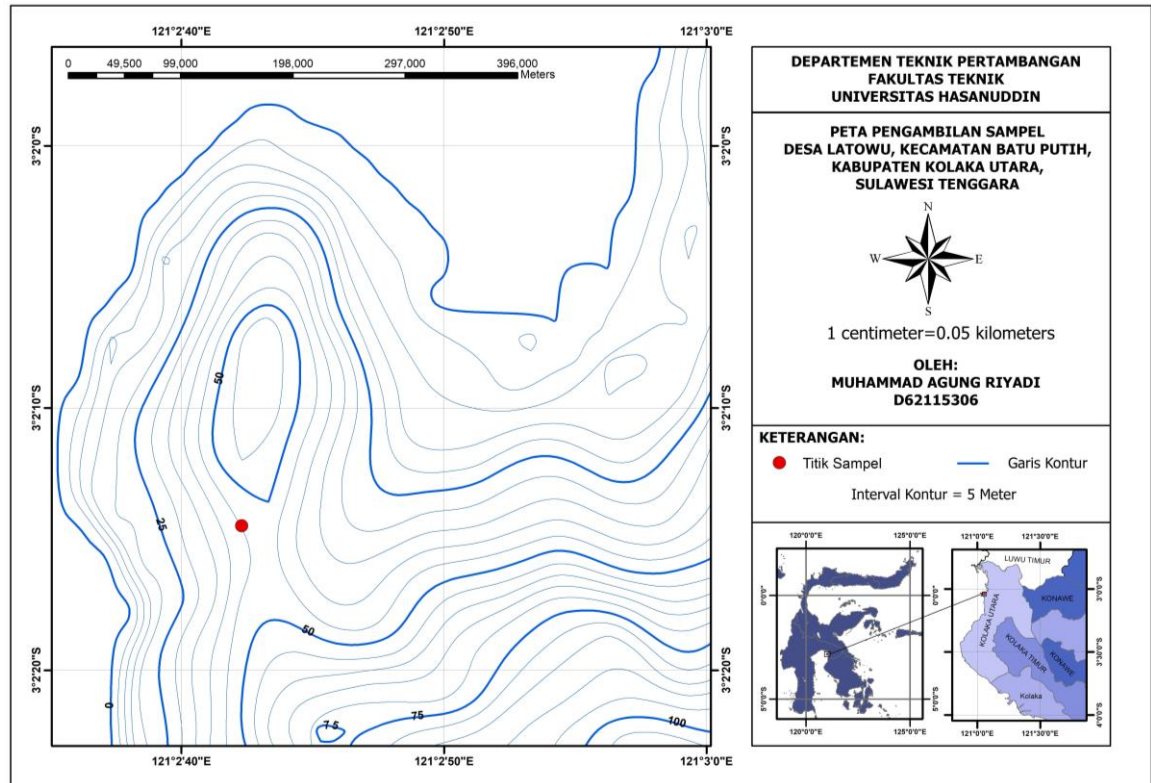
Penelitian ini memiliki batasan masalah berupa:

1. Bijih nikel laterit yang diteliti merupakan bijih nikel laterit lapisan limonit.
2. Analisis perolehan hanya dilakukan pada logam nikel dan kobalt sehingga keberadaan unsur atau logam lainnya tidak diperhitungkan atau diabaikan.
3. Proses pelindian hanya dilakukan pada suhu 80°C.

#### **1.6 Lokasi dan Kesampaian Daerah Penelitian**

Lokasi pengambilan sampel bijih limonit yang digunakan pada penelitian ini berada pada Daerah Latowu, Kecamatan Batuputih, Kabupaten Kolaka Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Secara astronomis, sampel bijih nikel laterit tersebut terletak pada titik kordinat *Easting* 282729 dan *Northing* 9664070 *Projected System* UTM 51 yang terletak pada elevasi 10 meter di atas permukaan laut dan apabila di konversi menjadi titik kordinat WGS 1984 terletak di 121°2'42.32" BT dan 3°2'14.86" LS. Lokasi

penelitian dapat ditempuh dengan menggunakan total jarak tempuh sekitar 627 KM dengan estimasi waktu perjalanan sekitar 15 jam.



Gambar 1.1 Peta lokasi pengambilan sampel

## 1.7 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama  $\pm 12$  bulan yaitu dari bulan Oktober 2019 sampai dengan bulan Oktober 2020. Tahapan-tahapan yang dilakukan selama melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

### 1. Persiapan

Persiapan merupakan tahapan yang paling awal dilakukan sebelum melakukan penelitian, meliputi persiapan administrasi dan persuratan berkaitan dalam penelitian, pengumpulan berbagai literatur mengenai penelitian yang akan dilakukan agar dapat menunjang penelitian, persiapan bahan-bahan yang digunakan.



## 2. Studi literatur

Studi literatur dilakukan sebelum penelitian, selama penelitian berlangsung hingga penyusunan tugas akhir. Studi literatur dikumpulkan dari informasi-informasi berupa buku, jurnal, dan referensi lainnya yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.

## 3. Penelitian di laboratorium

Tahapan penelitian di laboratorium meliputi preparasi sampel yang telah diambil di lokasi penelitian, proses pelindian, karakterisasi awal maupun karakterisasi akhir hasil pelindian. Proses pelindian dilakukan dengan menggunakan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) pada tekanan atmosfer yang kemudian disaring sehingga menghasilkan *pregnant solution* dan residu. Analisis XRD digunakan untuk karakterisasi awal bijih dan karakterisasi residu *hasil leaching*. Analisis AAS digunakan untuk mengetahui kadar nikel dan kobalt sebelum dan sesudah pelindian sehingga bisa diketahui besar *recovery*-nya.

## 4. Pengolahan data

Tahapan pengolahan data dilakukan pada data-data yang telah dikumpulkan dan dianalisis sehingga diperoleh pemecahan dari permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini. Data dari hasil XRD dan AAS baik sebelum maupun sesudah dilakukan proses pelindian dibandingkan serta dikaji hasil penelitian tersebut untuk mengetahui perolehan dan karakteristik sampel yang diteliti.

## 5. Penyusunan laporan tugas akhir

Tahapan penyusunan laporan tugas akhir merupakan tahapan terakhir dalam rangkaian kegiatan penelitian. Seluruh hasil penelitian akan disusun dan dilaporkan secara sistematis sesuai dengan aturan penulisan yang digunakan di Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

## BAB II

### EKSTRAKSI NIKEL DAN KOBALT DARI BIJIH LIMONIT

#### 2.1 Nikel

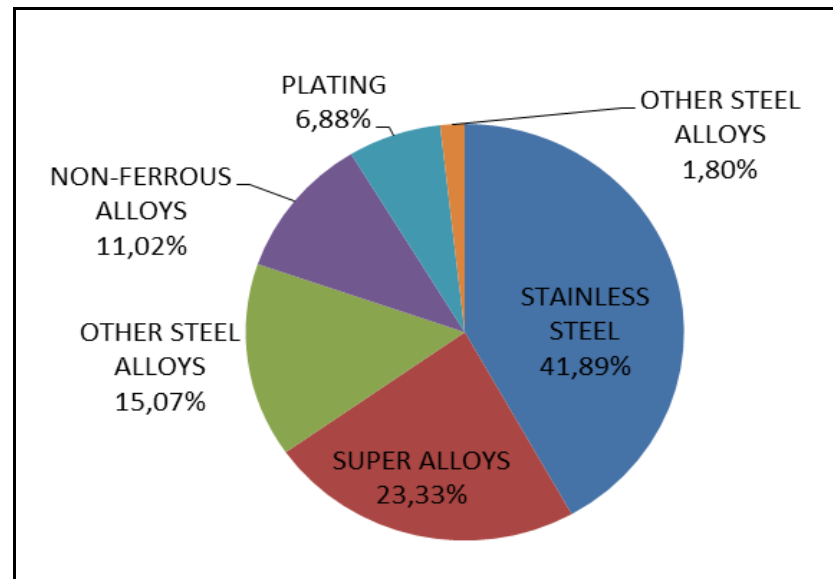
Nikel adalah logam berwarna putih keperakan yang keras, relatif elastis, dan bisa ditempa. Nikel memiliki konduktivitas termal dan listrik yang cukup rendah dan bisa menjadi magnet. Sifat fisik seperti ini yang penting dalam aplikasi industri termasuk ketahanan terhadap oksidasi dan korosi oleh alkali, kekuatan pada suhu tinggi, dan kemampuan untuk membentuk paduan dengan banyak logam lainnya (Bide, 2008).

Tabel 2.1 Sifat fisik nikel (Bide, 2008)

Simbol	Ni
Nomor Atom	28
Berat Atom	58,69
Densitas pada Suhu 293 K (kg/m <sup>3</sup> )	8902
Titik Lebur	1453
Titik Didih	2732
Konduktivitas	22

Bahan-bahan utama yang mengandung nikel meliputi baja tahan karat, *super alloy*, baja paduan, besi cor dan paduan cor, paduan tembaga, *plating* dan *electroforming*. Industri *stainless steel* adalah pengguna terbesar diikuti oleh baja paduan, *special alloys*, *plating*, baterai dan pengecoran. Diperkirakan pada tahun 2017, industri *stainless steel* menyumbang sekitar 75% dari seluruh penggunaan nikel primer dan juga mengonsumsi hampir 900.000 ton nikel bekas. Industri baterai menyumbang

3,7% dengan sisanya digunakan oleh industri lain yang disebutkan pada gambar 2.1. (International Nickel Study Group, 2018).



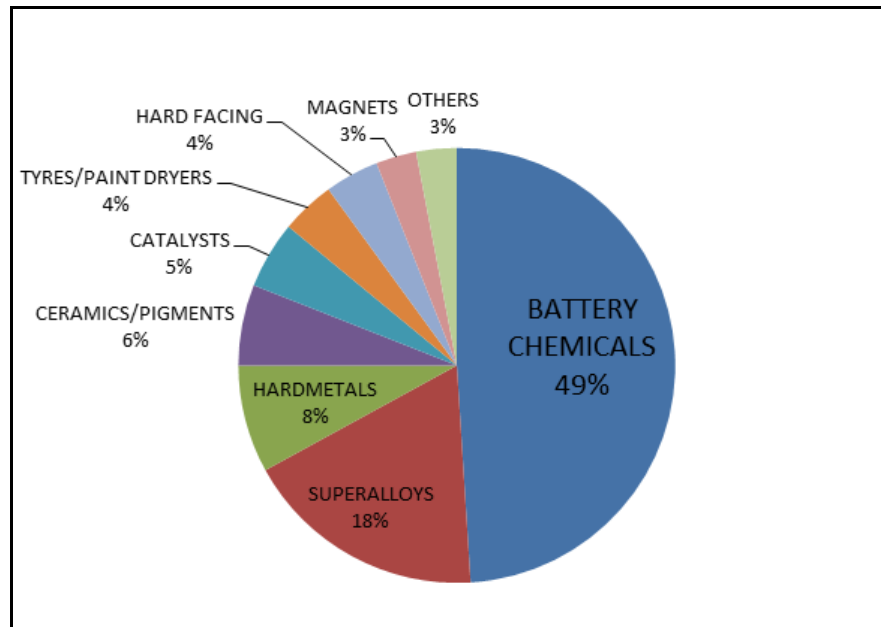
Gambar 2.1 Penggunaan Nikel di Amerika Serikat (Mcrae, 2018)

Nikel merupakan salah satu logam utama industri yang paling serbaguna dan penting. Nikel banyak digunakan dalam ratusan ribu produk untuk konsumen, industri, militer, transportasi, luar angkasa, laut dan aplikasi arsitektur. Sifat fisik dan kimianya yang luar biasa membuat nikel sangat penting dalam banyak produk akhir. Sifat fisik dan kimia unik nikel adalah memiliki titik lebur yang tinggi, tahan akan korosi dan oksidasi, *tenacity very ductile*, magnetis di suhu ruangan, dapat disimpan dengan *electroplating*, bisa jadi katalis dalam reaksi kimia, serta dapat didaur ulang (Davis, 2000).

## 2.2 Kobalt

Kobalt merupakan unsur kimia logam dengan nomor atom 27. Kobalt merupakan logam fasa padat dengan massa jenis sekitar  $8,85 \text{ g/cm}^3$  dan titik lebur  $1493^\circ\text{C}$ . Kobalt yang telah melebur akan berubah menjadi fasa cair memiliki titik didih sebesar  $3100^\circ\text{C}$ . Kobalt diklasifikasikan sebagai logam strategis dan kritikal karena

penggunaannya dalam industri pertahanan dan ketergantungan negara-negara industri terhadap import kobalt (Davis, 2000). Persentase penggunaan kobalt dijelaskan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Penggunaan Kobalt (Dias, 2018).

Di alam, kobalt terdapat dilapisan kerak bumi yaitu sekitar 0,004% dari berat kerak bumi atau sekitar 30 ppm (Lee, 1991) dari kerak bumi. Terdapat banyak bijih logam yang mengandung kobalt (mineral kobalt), diantaranya yang dikomersilkan yaitu Kobaltite ( $\text{CoAsS}$ ), Smaltite ( $\text{CoAs}_2$ ) dan Linneaite ( $\text{CO}_3\text{S}_2$ ). Persenyawaan kobalt yang terdapat di alam umumnya ditemukan dengan bijih logam nikel, terkadang juga bersamaan dengan bijih tembaga serta bijih timbal. Negara-negara yang secara komersil memproduksi logam murni kobalt dari mineralnya di alam antara lain Zaire (32,5%), Zambia(16%), Australia (11%), USSR (10%) dan Kanada (9%) (Heslop,1961). Kegunaan Kobalt adalah (Dias, 2018):

1. Baterai

Konsumsi kobalt dunia sebagian besar adalah untuk baterai dengan tingkat konsumsi sebesar 49%. Kobalt merupakan .komponen penting dari tiga teknologi

baterai isi ulang utama; baterai nikel-kadmium: baterai nikel-metal *hydride* dan baterai lithium-ion, dengan proporsi tertinggi kobalt yang ditemukan dalam model berperforma tinggi (Hannis & Bide, 2009).

## 2. *Super Alloy*

Konsumsi kobalt dunia untuk *super alloy* adalah sebesar 18%. Ketika kobalt dicampur dengan logam tertentu lainnya dapat menghasilkan '*super alloy*' yang mampu menahan tekanan mekanis dan suhu yang tinggi. Ketika kobalt ditambahkan ke paduan berbasis nikel maka akan mengubah struktur molekul paduan dan dengan demikian meningkatkan kekuatan suhu tinggi (kegunaan utama paduan ini) dan ketahanan mereka terhadap korosi kimia. Sifat-sifat ini membuat *super alloy* kobalt ideal untuk digunakan dalam mesin jet dan turbin di mana suhu tinggi ditemui. Sebagian kecil *super alloy* diproduksi untuk digunakan dalam aplikasi kimia di mana ketahanan terhadap korosi sangat penting.

## 3. *Hardmetal*

Konsumsi kobalt dunia untuk *hardmetal* adalah sebesar 8%. Penyusun utama *hardmetal* adalah *tungsten carbide* dan sejumlah kecil fase peningkat logam Fe, Ni, dan Co yang meningkatkan ketahanannya (Li *et al.*, 2018). Peran kobalt dalam *hardmetal* adalah untuk menyediakan pengikat logam untuk partikel keras. Kobalt digunakan sebagai matriks untuk partikel karbida karena kekuatan pembasahan atau kapilernya selama fase cair memungkinkan tercapainya kepadatan tinggi. *Hardmetal* biasa juga disebut dengan *cemented carbide*.

## 4. *Pigments*,

Konsumsi kobalt dunia untuk *pigments* adalah sebesar 6%. Kombinasi unik dari warna, kelarutan dan kestabilan membuat senyawa kobalt penting sebagai zat pewarna yang kuat dalam berbagai aplikasi penggunaan. Kemampuan mineral yang

mengandung kobalt sebagai zat pewarna telah digunakan selama ribuan tahun sejak zaman Mesir dan Persia.

#### 5. Katalis

Katalis, konsumsi kobalt dunia untuk katalis adalah sebesar 5%. Kobalt digunakan sebagai katalisator dalam reaksi desulfurisasi. Reaksi ini menghilangkan belerang dari gas alam dan dari produk minyak sulingan seperti bahan bakar minyak yang digunakan dalam kendaraan, pesawat, kapal, pembangkit listrik berbahan gas, dan tungku perumahan dan industri. Diperkirakan untuk setiap ton kobalt yang diaplikasikan sebagai campuran katalis, berkontribusi pada pengurangan emisi sulphur oksida sebesar 25.000 ton dan pengurangan emisi nitrogen oksida sebesar 750 ton.

#### 6. Penggunaan lain

Penggunaan lain, konsumsi kobalt dunia untuk penggunaan lain adalah sebesar 13%. Penggunaan itu termasuk magnet sebesar 3%, *hard facing* sebesar 4%, *tyres/paint dryers* dan lain-lain sebesar 3%.

### **2.3 Endapan Nikel Laterit**

Laterit merupakan produk sisa pelapukan batuan di permukaan bumi, di mana berbagai mineral asli atau primer tidak stabil dengan adanya air, sehingga mineral tersebut larut atau rusak dan mineral baru yang lebih stabil terhadap lingkungan terbentuk. Laterit penting sebagai tuan rumah bagi endapan bijih ekonomi, karena interaksi kimia yang dalam beberapa kasus sangat efisien dalam mengkonsentrasikan beberapa elemen. Contoh terkenal dari deposit bijih laterit yang penting adalah aluminium bauksit dan endapan bijih besi yang diperkaya, tetapi contoh yang kurang dikenal termasuk endapan emas laterit (misalnya Boddington di Australia Barat) (Evans, 1993).

Nikel laterit adalah produk lateritisasi batuan kaya Mg atau ultramafik yang memiliki kandungan Ni primer 0,2-0,4% (Golightly, 1981). Batuan seperti ini umumnya dunit, harzburgit dan peridotit yang berada di kompleks ofiolit, dan lapisan batuan intrusi mafik-ultramafik dalam pengaturan platform kratonik (Brand et al, 1998). Proses lateritisasi menghasilkan konsentrasi dengan faktor 3 hingga 30 kali kandungan nikel dan kobalt dari batuan induk. Proses dan karakter laterit yang dihasilkan dikendalikan pada skala regional dan lokal oleh faktor-faktor dinamis seperti iklim, topografi, tektonik, tipe dan struktur batuan primer (Elias, 2002).

Sebagian besar sumber nikel laterit terbentuk sekitar 22 derajat garis lintang di kedua sisi khatulistiwa (Gambar 5), dan dalam beberapa kasus dengan kadar tinggi, endapan terkonsentrasi di zona aktif lempeng tektonik (misalnya Indonesia, Filipina dan Kaledonia Baru) di mana produk-produk yang luas terkena cuaca kimia yang agresif dalam kondisi tropis dengan curah hujan tinggi dan suhu yang hangat, dan ada kesempatan besar untuk terjadinya pengayaan supergen. Sumber daya dalam pengaturan cratonik bisa besar tetapi cenderung lebih rendah dalam kelas (misalnya Murrin Murrin di Australia Barat). *Cratonic shield deposits* di Afrika Barat dan Brazil berada dalam zona khatulistiwa, tetapi mereka di Balkan (Yunani, Albania dan bekas Yugoslavia) dan Yilgarn *craton* di Australia Barat terjadi di lintang yang lebih tinggi. Dua contoh terakhir adalah endapan "fosil", yang saat ini terletak di daerah beriklim sedang atau kering sangat berbeda dari kondisi hangat dan lembab di mana mereka terbentuk (Elias, 2002).

Proses laterisasi berawal dari infiltrasi air hujan yang bersifat asam yang masuk ke dalam zone retakan, kemudian melarutkan mineral-mineral yang mudah larut pada batuan dasar. 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 *et al.*, 2013).

Secara umum endapan nikel laterit dibedakan menjadi beberapa zona yaitu (Elias, 2002):

a. Zona Tanah penutup (*Overburden*)

*Overburden* atau tanah penutup merupakan bagian yang paling atas dari suatu penampang laterit. Komposisinya adalah akar tumbuhan, humus, oksida besi dan sisa-sisa organik lainnya. Warna khas adalah coklat tua kehitaman dan bersifat gembur. Zona ini mempunyai kadar nikel yang sangat rendah sehingga tidak diambil dalam penambangan. Ketebalan zona tanah penutup rata-rata 0,3 s/d 6 m.

b. Zona Limonit

Zona Limonit berada di bagian bawah dari zona tanah penutup. Limonit merupakan hasil pelapukan lanjut dari batuan beku ultrabasa. Komposisinya meliputi oksida besi yang dominan, goetit, dan magnetit. Ketebalan zona ini rata-rata 8-15 m. Dalam limonit dapat dijumpai adanya akar tumbuhan, meskipun dalam persentase yang sangat kecil. Kemunculan bongkah-bongkah batuan beku ultrabasa pada zona ini tidak dominan atau hampir tidak ada, umumnya mineral-mineral di batuan beku basa sampai ultrabasa telah berubah menjadi serpentin akibat hasil dari pelapukan yang belum tuntas.

c. Zona Saprolit

Zona saprolit berada di bagian bawah zona limonit. Zona saprolit merupakan zona pengayaan unsur nikel (Ni). Komposisinya berupa oksida besi, serpentin, magnetit dan tekstur batuan asal yang masih terlihat. Ketebalan zona ini berkisar 5-18 m. Kemunculan bongkah-bongkah sangat sering dan pada rekahan-rekahan batuan asal dijumpai magnesit, serpentin, krisopras dan garnierit. Bongkah batuan asal yang muncul pada umumnya memiliki kadar SiO<sub>2</sub> dan MgO yang tinggi serta Ni dan Fe yang rendah.



d. Zona Batuan Dasar (*Bedrock*)

Zona batuan dasar (*bedrock*) berada di bagian paling bawah dari profil laterit. Batuan dasar merupakan batuan asal dari nikel laterit yang umumnya merupakan batuan beku ultrabasa yaitu peridotit yang pada rekahannya telah terisi oleh oksida besi 5-10%, garnierit minor dan silika > 35%. Permeabilitas batuan dasar meningkat sebanding dengan intensitas serpentinisasi.

Kenampakan masing-masing zona dapat terlihat dengan kenampakan fisiknya yaitu dari lapisan bawah ke atas yaitu batuan dasar diikuti lapisan tengah saprolit dan lapisan atas yaitu lapisan limonit. Kenampakan dari setiap lapisan dapat dilihat namun memperlihatkan batas-batas yang tidak teratur. Adapun lapisan batuan dasar dapat dicirikan dengan tekstur halus-sedang, warna abu-abu terang-gelap atau hijau kekuningan, tergantung derajat serpentinisasi dan tipe mineral serpentin. Pada lapisan saprolit terlihat menutupi lapisan dari batuan dasar dengan tekstur halus, warna kuning kehijauan-coklat, berongga dan materi lunak, sangat sedikit mengandung bongkahan dan juga memiliki massa yang relatif homogen. Pelapukan kimia menyebabkan saprolit berubah menjadi materi yang berwarna coklat kekuningan membentuk zona limonit di bagian atas lapisan ini. Ketebalan lapisan limonit umumnya lebih bervariasi namun cenderung lebih tipis dibandingkan dengan zona saprolit. Zona limonit pada bagian atas menunjukkan warna coklat sedang hingga gelap, lunak namun terdapat material yang keras (Sufriadin, 2013).

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

1. 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.

## 2. 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.

## 3. 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  $\text{CO}_2$  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.

## 4. 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.

## 5. 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.

#### 6. Waktu

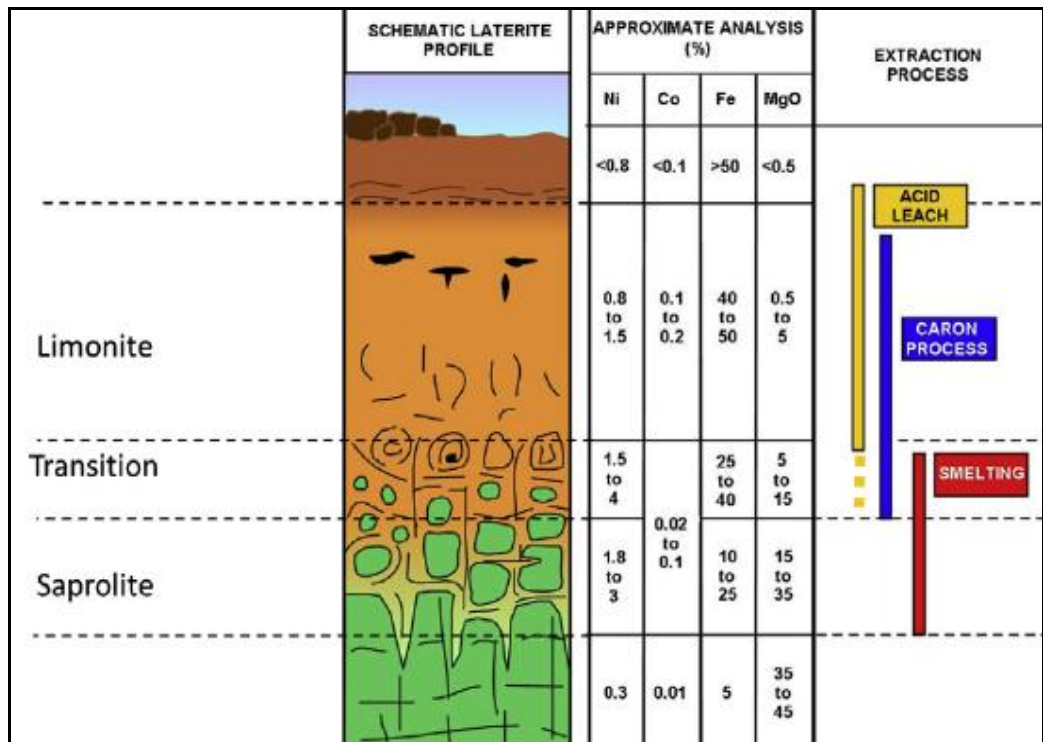
Waktu juga berpengaruh dalam pembentukan nikel laterit. Waktu yang cukup lama akan mengakibatkan pelapukan yang cukup intensif karena akumulasi unsur nikel cukup tinggi.

### **2.4 Pengolahan Bijih Nikel Laterit**

Pengolahan bijih nikel laterit untuk mendapatkan logam nikel dapat dilakukan melalui dua proses ekstraksi yaitu proses hidrometalurgi dan pirometalurgi. Proses hidrometalurgi cocok digunakan untuk mengolah bijih limonit sedangkan proses pirometalurgi cocok untuk mengolah bijih saprolit dikarenakan komposisi mineral dan kimia zona saprolit lebih heterogen dibandingkan dengan zona limonit sehingga memerlukan pengolahan yang fleksibel. Selain itu kandungan Mg yang tinggi pada zona saprolit mengakibatkan konsumsi asam yang tinggi jika menggunakan proses hidrometalurgi (Pournaderi, 2014).

Jalur proses pengolahan yang dapat digunakan untuk mendapatkan logam nikel tersebut seperti yang ada pada Gambar 2.3. Pemilihan jalur proses yang akan digunakan untuk proses pengolahan dipengaruhi oleh karakteristik mineral ataupun komposisi kimia dari endapan nikel laterit tersebut. Proses hidrometalurgi dapat mengolah bijih nikel laterit dari zona limonit dengan kadar Ni dibawah 1,5%, Co dibawah 0.2%, Fe diatas 40%, dan MgO dibawah 5%. Proses pirometalurgi dapat

mengolah bijih nikel laterit dari zona transisi dengan kadar Ni 1,5%-2%, Co 0,02%-0.1%, Fe 25%-40%, dan MgO dibawah 5%-15% dan zona saprolit dengan kadar Ni 1,8%-3%, Co 0,02%-0.1%, Fe 15%-35%, dan MgO 15%-35%. Gabungan proses antara hidrometalurgi dan hidrometalurgi dapat mengolah bijih nikel laterit dari zona limonit dan saprolit (Brand et al., 1998).



Gambar 2.3 Pengolahan Nikel Berdasarkan Kandungan Kimia Pada Lapisan Nikel Laterit (Brand et al., 1998)

Perlakuan awal yang dilakukan dalam pengolahan bijih nikel laterit ini yaitu dengan melakukan pemisahan bijih bertujuan untuk memisahkan mineral dari dari pengotornya sehingga diperoleh kadar bijih tinggi. Pemisahan dapat dilakukan dengan dua teknik pemisahan, yaitu pemisahan secara fisik dan pemisahan secara kimia. Pemisahan secara fisik meliputi pemisahan pengapungan (*flotation separation*), pemisahan gaya berat (*gravity separation*), pemisahan magnetik (*magnetic separation*), pemisahan pencairan (*liquidation separation*), dan pemisahan amalgam

(*amalgams separation*) sedangkan pemisahan secara kimia terdiri dari proses pelindian (*leaching*) dan proses pemanggangan (*roasting*) (Brand et al., 1998).

Proses pemisahan bijih dari pengotor dilakukan beberapa perlakuan awal yang dilakukan untuk mengoptimalkan proses pemisahan selanjutnya dikarenakan terdapat kandungan air maupun pengotor lain yang ada dalam endapan. Proses-proses perlakuan awal yang akan dilakukan yaitu (Barry, 2006):

a. Kominusi

Istilah kominusi berasal dari bahasa Latin "*comminuere*" yang berarti mengecilkan. Kominusi merupakan proses reduksi ukuran partikel suatu bahan galian sedemikian rupa sehingga memenuhi persyaratan dalam penggunaannya ataupun sebagai syarat dalam melakukan proses lanjutan. Kominusi bertujuan untuk menghasilkan partikel yang sesuai dengan kebutuhan (ukuran maupun bentuk), membebaskan mineral berharga dari pengotor, memperbesar luas permukaan, sehingga kecepatan reaksi pelarutan dapat berlangsung dengan lebih baik. Kominusi ada dua macam, yaitu:

1. Peremukan (*crushing*)

Peremukan (*crushing*) adalah proses reduksi ukuran dari bijih yang berukuran kasar (sekitar 1 m) menjadi ukuran sampai kira-kira 25 mm. Peralatan *crushing* (*crusher*) yang sering dipakai antara lain: *Jaw crusher, Gyratory crusher, Cone crusher, Roll crusher, Rotary breaker, Impact crusher, Hammer mill*.

2. Penggerusan (*grinding*)

*Grinding* adalah proses reduksi ukuran dari bijih yang berukuran halus (sekitar 25 mm). Sama halnya seperti pada *crushing*, dalam *grinding* juga dikenal tahap-tahap *primary, secondary, dan tertiary*. Proses ini sangat berpengaruh pada proses *leaching* karena semakin luas area permukaan

maka lebih mudah sampel bercampur dengan reagen atau pelarut yang digunakan.

b. Pengayakan (*screening and sieving*)

*Screening* dan *sieving* adalah proses pemisahan secara mekanik berdasarkan ukuran partikel. Istilah *sieving* dipakai untuk skala laboratorium, dan istilah *screening* dipakai dalam skala industri. Produk daripada proses pengayakan ada dua, yaitu *oversize* (ukuran yang lebih besar dari ukuran lubang pengayak) dan *undersize* (ukuran yang lebih kecil dari ukuran lubang pengayak). Pengayakan dalam skala laboratorium ada beberapa metode yaitu (Errol and David, 1982):

1. *Sieve shaker*

Pengayakan dengan cara *sieve shaker* merupakan pengayakan dengan menggunakan alat. Pengayakan dengan alat ini memberikan hasil yang konsisten dan akurasi yang tinggi.

2. *Hand sieving*

Penggunaan *hand sieving* dapat dilakukan secara manual, namun tetap menggunakan ayakan dengan standar ASTM (*American society for testing and material*) untuk mendapatkan hasil yang baik.

3. *Wet and dry sieving*

cara *wet and dry sieving* merupakan salah satu solusi yaitu dengan cara membasahi sampel dengan air pada ayakan kemudian hasil dari *oversize* maupun *undersize* dikeringkan. Hasil pengeringan *oversize* kemudian dilakukan proses kominusi secara normal sedangkan hasil *undersize* masuk ke tahap selanjutnya.

c. Pengeringan (*Drying*)

Tujuan dari proses ini adalah untuk menghilangkan uap air yang terdapat pada bijih karena tidak semua unsur yang tersedia di alam berbentuk dalam senyawa

murni, ada yang membentuk dengan air kristal. Selain itu, mineral menjadi lebih reaktif pada keadaan kadar air sedikit sehingga dapat mengoptimalkan proses *leaching*.

Proses yang dilakukan setelah proses perlakuan awal yaitu proses pelindian. Pelindian merupakan proses mengekstraksi suatu bahan yang dapat larut dari suatu padatan dengan menggunakan pelarut. Dalam metalurgi ekstraksi, pelindian adalah proses melarutkan satu atau lebih mineral tertentu dari suatu bijih, konsentrasi, atau produk metalurgi lainnya seperti kalsin, *matte*, *scrap alloys*, *anodic smiles* (Gupta, 2003). Laju proses pelindian dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Laju pelindian meningkat dengan berkurangnya ukuran butir dari bijih, karena semakin kecil ukuran partikel maka luas permukaan per unit berat semakin besar, namun semakin kecil ukuran partikel konsumsi reagen juga semakin besar.
2. Jika proses pelindian dikontrol oleh mekanisme difusi maka proses pelindian sangat dipengaruhi oleh kecepatan agitasi. Sedangkan jika proses *leaching* dikontrol oleh mekanisme kimia maka pelindian tidak dipengaruhi oleh agitasi, agitasi dilakukan untuk mencegah padatan menggumpal.
3. Laju pelindian meningkat dengan meningkatnya temperatur. Namun demikian peningkatan ini sedikit banyak berpengaruh untuk proses yang dikontrol oleh mekanisme kimia.
4. Laju pelindian meningkat dengan meningkatnya konsentrasi dari zat pelindi.
5. Laju pelindian meningkat dengan berkurangnya massa jenis *pulp* (campuran bijih dengan air).
6. Jika terbentuk suatu produk yang tidak dapat larut selama pelindian, maka lajunya akan dipengaruhi oleh sifat dari produk itu sendiri. Jika terbentuk lapisan yang *nonporous* maka laju pelindian akan terus menurun drastis.

Tetapi jika produk padatan yang terbentuk adalah *porous* maka produk tersebut tidak dipengaruhi oleh laju pelindian.

Pemilihan dari zat pelindi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor (Gupta, 2003):

- a. Sifat fisika dan kimia dari material yang akan dilindi.
- b. Besarnya biaya zat pelindi.
- c. Korosi yang mungkin disebabkan oleh zat pelindi dan konsekuensinya terhadap konstruksi material.
- d. Kemampuan menyeleksi unsur yang diinginkan untuk dilarutkan.

Kemampuan menyeleksi dari zat *leaching* terhadap suatu mineral tertentu yang ada didalam bijih sangat dipengaruhi oleh (Gupta, 2003):

1. Konsentrasi dari zat pelindi, dimana semakin meningkatnya konsentrasi zat pelindi maka jumlah dari mineral berharga yang larut akan semakin bertambah.
2. Temperatur, peningkatan temperatur memberikan efisiensi pelindian mineral berharga tetapi berpengaruh terhadap level pengotor dalam larutan.
3. Waktu kontak, waktu kontak antara pelarut dengan bijih dapat menyebabkan peningkatan persentase pengotor yang ada dalam larutan. Sehingga harus diketahui waktu kontak yang optimum agar dapat memaksimalkan perolehan logam berharga dan meminimalkan pengotor yang larut.

## **2.5 Hidrometalurgi Nikel Laterit**

Hidrometalurgi adalah proses pemurnian logam dengan menggunakan pelarut kimia untuk melarutkan bahan logam tertentu sehingga kemurnian logam yang diinginkan meningkat (*leaching*). Hidrometalurgi merupakan metode yang cukup menjanjikan karena mampu menghasilkan nikel dengan kemurnian yang tinggi. Selain



itu, pelarut dapat diregenerasi dan digunakan kembali sehingga dapat mengurangi biaya produksi (Kyle, 2010).

Jenis – jenis proses *hydrometallurgy* antara lain:

#### 1. Proses *caron*

Pada proses ini, bijih terlebih dahulu direduksi sebelum dilakukan proses *roasting* menggunakan amonium karbonat dalam tekanan atmosferik. Kemudian *Laju Pelindian* nikel dari larutan *leaching* diperoleh dengan cara menguapkan larutan tersebut sehingga terbentuk endapan nikel karbonat. Reaksi *roasting* berlangsung pada suhu 850°C. Bijih yang sudah selesai direduksi kemudian didinginkan dengan cara *quenching* pada suhu 150°C-200°C dalam larutan ammonium karbonat. Ni dan Co yang terkandung dalam bijih akan larut dan membentuk ammonia kompleks, sedangkan Fe akan teroksidasi dan mengendap sebagai  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Pada proses ini didapatkan larutan yang tidak mengandung Fe, sehingga didapatkan Ni dan Co yang lebih murni. Proses *caron* dapat digunakan untuk bijih limonit dan beberapa jenis bijih saprolit (Kyle, 2010).

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

Teknologi ini telah menjadi metode utam dalam proses *hydrometallurgy*. Proses ini cocok untuk bijih limonit. Bijih dilarutkan dalam larutan asam sulfat pada suhu 240°C-270°C selama 60-90 menit. Pada akhirnya Fe akan mengendap sebagai hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan jarosit  $(\text{H}_3\text{O})\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ , sedangkan Al dalam bentuk alunit  $(\text{H}_3\text{O})\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ . Hampir semua Fe, Al, Si, dan Cr akan mengendap. Lebih dari 95 % Ni dan 90 % Mg akan larut dalam larutan (Kyle, 2010).

#### 3. *Atmospheric Leaching*

*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. Pengembangan metode dari *atmospheric leaching* perlu dilakukan agar lebih selektif dan menolak logam seperti besi dan aluminium pada proses ekstraksi nikel (McDonald & Whittington, 2008).

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

*Atmospheric Leaching* (AL) dipasang disisi HPAL untuk menghasilkan *Enhanced Pressure Acid Leaching* (EPAL). Pada proses *Atmospheric Leaching*, Ni dan Co diekstraksi. Proses ini menggunakan bijih saprolit untuk menetralkan asam yang tersisa setelah proses HPAL, sehingga meningkatkan kandungan nikel pada larutan. Saprolit dilarutkan kembali dalam larutan asam sulfat dan terjadi peningkatan pH untuk membantu mengendapkan besi (Fe) dari larutan sebagai goetit (Liu *et al.*, 2014).