

**SKRIPSI**

**ANALISIS KOMPARASI EKSTRAKSI NIKEL DARI BIJIH  
LIMONIT DENGAN PELARUT ASAM SITRAT DAN ASAM  
ASETAT PADA TEKANAN ATMOSFER**

(Studi Kasus: PT Bukit Makmur Istindo Nikeltama, Kabupaten Morowali Utara)

**Disusun dan diajukan oleh**

**LOUW RIYON KRIS AFRENDO**

**D111 18 1312**



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

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS KOMPARASI EKSTRAKSI NIKEL DARI BIJIH  
LIMONIT DENGAN PELARUT ASAM SITRAT DAN ASAM  
ASETAT PADA TEKANAN ATMOSFER**  
(Studi Kasus: PT Bukit Makmur Istindo Nikeltama, Kabupaten Morowali Utara)

Disusun dan diajukan oleh

**Louw Riyon Kris Afrendo**  
**D111181312**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian  
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 29 Mei 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



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

Ketua Program Studi,



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

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Louw Riyon Kris Afrendo  
NIM : D111181312  
Program Studi : Teknik Pertambangan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

{Analisis Komparasi Ekstraksi Nikel Dari Bijih Limonit Dengan Pelarut Asam  
Sitrat Dan Asam Asetat Pada Tekanan Atmosfer}  
(Studi Kasus: Pt Bukit Makmur Istindo Nikeltama, Kabupaten Morowali Utara)

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, Mei 2023

Yang Menyatakan



Louw Riyon Kris Afrendo

## ABSTRAK

**Louw Riyon Kris Afrendo.** *ANALISIS KOMPARASI EKSTRAKSI NIKEL DARI BIJIH LIMONIT DENGAN PELARUT ASAM SITRAT DAN ASAM ASETAT PADA TEKANAN ATMOSFER* (dibimbing oleh Dr. Ir. Sufriadin, ST., M.T)

Nikel merupakan salah satu unsur logam yang penggunaannya telah dikenal dalam industri. Ekstraksi nikel dari bijih nikel laterit berkadar rendah umumnya dilakukan dengan cara hidrometalurgi. Salah satu metode hidrometalurgi dalam mengekstraksi nikel dari bijih nikel laterit kadar rendah adalah *Atmospheric Acid Leaching*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik mineralogi dan kimia bijih limonit dan membandingkan pengaruh waktu serta konsentrasi asam dari proses pelindian menggunakan asam sitrat dan asam asetat. Manfaat penelitian ini untuk memberikan informasi mengenai alternatif lain dalam pengolahan dan ekstraksi bijih nikel laterit kadar rendah sehingga dapat diolah dan diekstraksi secara efektif. Berdasarkan hasil analisis XRD dan analisis mikroskop menunjukkan bahwa mineral penyusun pada bijih limonit yang diteliti terdiri dari goetit, magnetit, talk, kuarsa, dan lizardit. Berdasarkan hasil penelitian pelindian bijih limonit dengan asam sitrat menghasilkan *recovery* nikel tertinggi sebesar 6,78%, lebih tinggi dari penggunaan asam asetat sebagai pelarut, hasil ini dicapai pada waktu pelindian selama 1 hari dengan konsentrasi larutan 6 molar.

Kata Kunci: Bijih limonit; nikel kadar rendah; *atmospheric leaching*; asam sitrat; asam asetat

## **ABSTRACT**

**Louw Riyon Kris Afrendo.** *COMPARATIVE ANALYSIS OF NICKEL EXTRACTION FROM LIMONITE ORE WITH CITRIC ACID AND ACETIC ACID AT ATMOSPHERIC PRESSURE ( supervised by Dr. Ir. Sufriadin, ST., M.T)*

*Nickel is one of the metallic elements whose uses are well known in industry. The extraction of nickel from low-grade lateritic nickel ores is generally carried out by hydrometallurgical methods. One of the hydrometallurgical methods for extracting nickel from low-grade lateritic nickel ore is atmospheric acid leaching. This research activity aims to determine the mineralogical and chemical characteristics of limonite ore and to compare the effects of time and acid concentration from the leaching process using citric acid and acetic acid. The benefit of this research is to provide information about other alternatives in the processing and extraction of low-grade lateritic nickel ore so that it can be processed and extracted effectively. Based on the results of XRD analysis and microscopy analysis, it was shown that the constituent minerals in the studied limonite ore consisted of several minerals, such as goethite, magnetite, talc, quartz, and lizardite. Based on the research results, limonite ore leaching with citric acid produced the highest nickel recovery of 6.78%, higher than the use of acetic acid as a solvent; this result was achieved after 1 day of leaching with a solution concentration of 6 molar.*

*Keywords: Limonite ore; low-grade nickel; atmospheric leaching; citric acid; acetic acid*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur patut penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas segala berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan penelitian dan dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir (Skripsi) yang berjudul “Analisis Komparasi Ekstraksi Nikel Dari Bijih Limonit Dengan Pelarut Asam Sitrat Dan Asam Asetat Pada Tekanan Atmosfer”, yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S-1) pada Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Selama melakukan kegiatan penelitian sampai penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Sufriadin, ST., M.T., selaku koordinator LBE Analisis dan Pengolahan Bahan Galian dan selaku dosen pembimbing penulis, yang telah membimbing penulis selama proses penelitian sampai penyelesaian skripsi ini. Terima kasih kepada Bapak Asta Arjunoarwan Hatta, S.T., M.T., Bapak Dr.phil.nat Sri Widodo, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, M.T. selaku dosen penguji. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada ketua Departemen dan Staf Departemen Teknik Pertambangan yang telah membantu administrasi penulis selama melaksanakan penelitian sampai penyelesaian skripsi.

Terima kasih kepada seluruh saudara seperjuangan TUNNEL 2018 yang senantiasa memberikan dukungan dan selalu mengisi hari-hari menjadi sangat menyenangkan, serta kepada seluruh anggota Laboratorium Analisis dan Pengolahan Bahan Galian terkhusus kepada kanda Akmal Saputno, S.T, M.T., yang senantiasa membantu dan memberikan dukungan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Terima kasih sedalam-dalamnya kepada orang tua penulis, Bapak Yusak Louw dan Ibu Meirin Tirhana, serta saudara dan orang terdekat, yang telah memberikan dukungan dan senantiasa selalu mendoakan selama proses penelitian ini berlangsung sampai selesainya penyusunan skripsi ini.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Naftali Angel yang telah banyak memberikan bantuan baik secara moril ataupun materi. Terima kasih telah menyemangati dan terus memberikan dukungan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Sebagai manusia biasa yang tidak lepas dari berbagai kekurangan penulis menyadari bahwa di dalam skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan untuk itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan guna penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat berguna bagi kita semua. Mohon maaf apabila terdapat kesalahan dalam penulisan skripsi ini. Sekian dan terima kasih.

Makassar, Mei 2023

Louw Riyon Kris Afrendo

## DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Lokasi dan Kesampaian Daerah Penelitian.....	4
1.7 Tahapan Penelitian.....	5
BAB II BIJIH NIKEL LATERIT.....	7
2.1 Nikel.....	7
2.2 Genesis Endapan Nikel Laterit.....	10
2.3 Pengolahan Bijih Nikel Laterit.....	16
2.4 Analisis Mikroskopis.....	24
2.5 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	24
2.6 <i>Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)</i> .....	26
BAB III METODE PENELITIAN.....	28
3.1 Persiapan.....	28
3.2 Variabel Penelitian.....	29
3.3 Prosedur Penelitian.....	30
BAB IV KARAKTERISTIK DAN PELINDIAN BIJIH LIMONIT.....	42
4.1 Karakteristik Awal Sampel Bijih Limonit.....	42
4.2 Analisis Sampel Bijih Limonit Setelah Pelindian.....	46
BAB V PENUTUP.....	61
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA.....	63
LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Pembentukan profil nikel laterit (Djadjulit, 1992).....	11
Gambar 2	Profil endapan nikel laterit (Elias, 2002).....	15
Gambar 3	Distribusi cadangan nikel dunia (Mcrae, 2019). ....	16
Gambar 4	Tampilan klasik opsi pemrosesan untuk laterit nikel (Brand et al, 1998 dalam Oxley & Barcza, 2013). ....	17
Gambar 5	Pengambilan sampel.....	30
Gambar 6	Sampel sayatan poles.....	31
Gambar 7	Sampel bubuk.....	32
Gambar 8	Proses pengeringan sampel.....	32
Gambar 9	Proses mereduksi ukuran sampel.....	33
Gambar 10	Proses pengayakan sampel.....	34
Gambar 11	Proses pengeringan sampel menggunakan oven.....	34
Gambar 12	Proses penimbangan sampel.....	35
Gambar 13	Proses pelindian sampel bijih limonit.....	37
Gambar 14	Proses penyaringan larutan hasil pelindian.....	37
Gambar 15	Larutan pregnant solution hasil pelindian.....	38
Gambar 16	Analisis menggunakan mikroskop Nikon Eclipse LV-100 POL ..	39
Gambar 17	XRD tipe Shimadzu Maxima-X XRD 7000.....	40
Gambar 18	AAS Thermo Scientific Ice 3000 Series.....	41
Gambar 19	Kenampakan mikroskopis sampel awal bijih nikel laterit. Keterangan: (Goe:goetit); (Qz:kuarsa); (Tlc:talc); (Liz:lizardit); (Mag:magnetit). ....	42
Gambar 20	Hasil analisis XRD pada sampel bijih limonit sebelum pelindian	44
Gambar 21	Difaktogram residu hasil pelindian menggunakan asam asetat berdasarkan pengaruh konsentrasi larutan.....	47
Gambar 22	Difaktogram residu hasil pelindian menggunakan asam asetat berdasarkan pengaruh waktu.....	48
Gambar 23	Difaktogram residu hasil pelindian menggunakan asam sitrat berdasarkan pengaruh konsentrasi larutan.....	49
Gambar 24	Difaktogram residu hasil pelindian menggunakan asam sitrat berdasarkan pengaruh waktu.....	50
Gambar 25	Grafik hubungan <i>recovery</i> Ni terhadap kosentrasi larutan asam asetat.....	52
Gambar 26	Grafik hubungan <i>recovery</i> Ni terhadap waktu pelindian menggunakan larutan asam asetat.....	54
Gambar 27	Grafik hubungan <i>recovery</i> Ni terhadap kosentrasi larutan asam sitrat.....	56
Gambar 28	Grafik hubungan <i>recovery</i> Ni terhadap waktu pelindian menggunakan larutan asam sitrat.....	57
Gambar 29	Grafik pengaruh variabel konsentrasi asam asetat dan asam sitrat terhadap perolehan Ni dari proses pelindian.....	58

Gambar 30	Grafik pengaruh variabel waktu terhadap perolehan Ni dari proses pelindian menggunakan asam asetat dan asam sitrat sebagai pelarut .....	59
-----------	--	----

## DAFTAR TABEL

Tabel 1	Perbedaan antara Nikel Sulfida dan Nikel Laterit (Kusuma, 2012; Shofi, 2003; Simate, 2010; British Geological Survey, 2008).....	7
Tabel 2	Komposisi mineral bijih limonit sebelum pelindian .....	44
Tabel 3	Hasil analisis kadar Ni sampel bijih limonit sebelum pelindian menggunakan metode AAS.....	46
Tabel 4	Hasil analisis kadar Ni bijih limonit setelah pelindian berdasarkan variabel konsentrasi asam asetat dengan menggunakan instrumen AAS.....	51
Tabel 5	Hasil <i>recovery</i> Ni berdasarkan variabel konsentrasi asam asetat.....	52
Tabel 6	Hasil analisis kadar Ni bijih limonit setelah pelindian berdasarkan variabel waktu menggunakan asam asetat sebagai pelarut dengan menggunakan instrumen AAS .....	53
Tabel 7	Hasil <i>recovery</i> Ni berdasarkan variabel waktu dengan menggunakan asam asetat sebagai pelarut .....	53
Tabel 8	Hasil analisis kadar Ni bijih limonit berdasarkan variabel asam sitrat setelah pelindian dengan menggunakan AAS .....	55
Tabel 9	Hasil <i>Recovery</i> Ni berdasarkan variabel konsentrasi asam sitrat.....	55
Tabel 10	Hasil analisis kadar Ni bijih limonit berdasarkan variabel waktu menggunakan asam sitrat sebagai pelarut setelah pelindian dengan menggunakan AAS .....	56
Tabel 11	Hasil <i>Recovery</i> Ni berdasarkan pengaruh variabel waktu dengan menggunakan asam sitrat sebagai pelarut .....	57

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Peta tunjuk lokasi penelitian.....	68
Lampiran 2 Diagram alir penelitian .....	69
Lampiran 3 Hasil analisis xrd ( <i>x-ray diffraction</i> ) .....	70
Lampiran 4 Hasil analisis.....	93
Lampiran 5 Perhitungan kadar ni .....	94
Lampiran 6 Perhitungan <i>recovery</i> ni.....	97
Lampiran 7 Hasil analisis mikroskopis .....	100

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Nikel merupakan salah satu unsur logam yang penggunaannya telah dikenal dalam industri. Logam ini banyak digunakan karena memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi, mudah dibentuk tetapi tetap kuat, serta katalisator dan konduktor yang baik (Wahyuadi dan Adiyanto, 2016). Logam nikel merupakan logam yang sangat penting dalam kehidupan modern. Nikel banyak digunakan sebagai unsur padu yang sangat penting dalam pembuatan baja tahan karat, baja khusus (*tool steel, armour steel, etc*), unsur pelapis dalam industri lapis listrik (*electroplating*), katalis, dan lain-lain. Permintaan baja tahan karat dan baja keperluan khusus terus meningkat, dan sekitar 60% nikel yang ada dunia digunakan sebagai unsur padu baja tahan karat. Oleh karena itu proses pengolahan untuk menghasilkan nikel menjadi hal yang sangat penting (Barkas, 2011).

Bijih nikel terbagi atas dua jenis, yaitu nikel sulfida dan nikel laterit (Solihin et al., 2014). Sekitar 70% bijih nikel di dunia dikategorikan sebagai bijih nikel laterit (Marrero et al., 2015), tetapi lebih dari 60% dari pengolahan nikel saat ini menggunakan bijih nikel sulfida sebagai bahan bakunya. Hal ini dikarenakan biaya ekstraksi yang lebih murah. Peningkatan permintaan secara global dan fluktuasi harga logam nikel di pasar komersial, serta berkurangnya cadangan bijih nikel sulfida, maka industri metalurgi mulai beralih untuk menggunakan bijih nikel laterit sebagai bahan bakunya (Tong et al., 2013).

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara yang memiliki cadangan nikel terbesar di dunia. Cadangan sekitar 12 % cadangan nikel dunia terdapat di Indonesia dalam bentuk bijih nikel laterit (Xinfang, 2008). Berbeda dengan nikel sulfida yang berkadar tinggi, secara umum, bijih laterit diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu limonit dan saprolit. Bijih saprolit memiliki kadar nikel sebesar 1.5-3.0 % dan bijih limonit sebesar 1.0-1.5 % (Wahyuadi dan Adiyanto, 2016). Pengolahan bijih nikel berkadar tinggi diproses melalui proses temperatur tinggi (pirometalurgi), sedangkan ekstraksi nikel dari bijih nikel laterit berkadar rendah

umumnya dilakukan dengan cara hidrometalurgi, karena bila diolah dengan proses pirometalurgi, dinilai tidak ekonomis dan nikel yang dihasilkan memiliki *grade* yang rendah (Solihin dan Firdiyono, 2014). Selain itu, Wanta, dkk (2018) mengatakan bahwa proses hidrometalurgi memiliki keunggulan yaitu menghasilkan produk yang jauh lebih murni dibanding proses pirometalurgi.

Hidrometalurgi merupakan suatu proses mendapatkan suatu mineral dengan menggunakan suatu larutan. Pada umumnya, proses ini digunakan pada mineral yang memiliki kadar rendah seperti bijih limonit (Shidqi, 2012). Ekstraksi nikel laterit menggunakan metode hidrometalurgi lebih efisien dari segi konsumsi energi dengan lebih sedikit gas buang dibandingkan dengan metode pirometalurgi. Pengendalian proses hidrometalurgi dan sirkulasi media pelindi juga lebih sederhana dibanding jalur pirometalurgi. Sehingga nikel laterit berkadar rendah dapat diekstraksi lebih banyak menggunakan metode hidrometalurgi. Salah satu metode hidrometalurgi dalam mengekstraksi nikel dari bijih nikel laterit adalah *Atmospheric Acid Leaching* (AAL) (Wang, 2013). Pada dasarnya semua jenis asam dapat digunakan sebagai pelarut dalam prosedur pelindian bijih nikel laterit. Namun analisis pelarut asam anorganik seperti  $H_2SO_4$ ,  $HCl$ ,  $HNO_3$  menganalisis logam secara efektif dan limbah dari asam anorganik dapat mencemari lingkungan sedangkan pelarut asam organik menganalisis logam secara lambat dan limbah dari asam organik tidak mencemari lingkungan. Telah banyak penelitian yang dikembangkan untuk melakukan proses pelindian bijih nikel laterit menggunakan pelarut asam organik sebagai contoh adalah penggunaan asam asetat dan asam sitrat. Tzeferis (1994) mempelajari pengaruh berbagai jenis asam (organik) terhadap proses *leaching* nikel laterit dengan penggunaan asam-asam organik, seperti asam sitrat, asam oksalat, asam asetat, asam laktat, asam format, dan asam salisilat. Namun diantara beberapa asam organik yang digunakan, penggunaan asam sitrat memberikan hasil *recovery* tertinggi. Hal ini diperkirakan bahwa asam sitrat merupakan asam organik yang paling efektif melakukan proses pelarutan nikel melalui tahap chelation (Tzeferis, 1994; valix, 2001; McDonald, 2008). Sedangkan Gustiana, dkk (2018) dalam penelitiannya melakukan pelindian nikel laterit dari bijih limonit dengan membandingkan penggunaan asam asetat dan asam klorida dengan pH yang sama yaitu asam asetat (25%) menghasilkan

persentase pemungutan nikel yang lebih baik yaitu sebesar 41%, dibandingkan HCl yang hanya dapat menghasilkan 12%. Oleh karena itu, penelitian ini tentang ekstraksi nikel dari bijih laterit kadar rendah dengan membandingkan penggunaan asam sitrat dan asam asetat sebagai pelarut. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu alternatif pengolahan nikel laterit dalam industri pertambangan dan juga memberikan basis data untuk pengoperasian *plant* pelindian bijih nikel laterit jenis limonit.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik mineralogi dan kimia sampel bijih limonit PT Bukit Makmur Istindo Nikeltama, Kabupaten Morowali Utara.
2. Bagaimana pengaruh variabel waktu dan konsentrasi larutan asam sitrat ( $C_6H_8O_7$ ) dan asam asetat ( $CH_3COOH$ ) pada proses *atmospheric acid leaching*?
3. Berapa tingkat perolehan Ni dari pelindian bijih limonit PT Bukit Makmur Istindo Nikeltama, Kabupaten Morowali Utara, dari proses *atmospheric acid leaching* menggunakan pelarut asam sitrat ( $C_6H_8O_7$ ) dan asam asetat ( $CH_3COOH$ )?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik mineralogi dan kimia sampel bijih limonit PT Bukit Makmur Istindo Nikeltama, Kabupaten Morowali Utara.
2. Menganalisis pengaruh variabel konsentrasi asam sitrat ( $C_6H_8O_7$ ) dan asam asetat ( $CH_3COOH$ ) terhadap perolehan Ni pada proses *atmospheric acid leaching*.
3. Menganalisis pengaruh variabel waktu pelindian bijih limonit menggunakan asam sitrat ( $C_6H_8O_7$ ) dan asam asetat ( $CH_3COOH$ ) terhadap perolehan Ni pada proses *atmospheric acid leaching*.
4. Menganalisis perbandingan tingkat efektifitas penggunaan asam asetat dan asam sitrat pada proses *atmospheric acid leaching*.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi data acuan proses pelindian nikel laterit dalam skala industri sehingga pemanfaatan bijih nikel laterit kadar rendah dapat lebih meningkat di Indonesia dan dengan adanya proses hidrometalurgi di harapkan mampu memberikan proses pengolahan nikel yang lebih ramah lingkungan.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Penelitian ini memiliki batasan masalah yakni:

1. Analisis perolehan hanya dilakukan pada logam nikel sehingga keberadaan unsur-unsur lain tidak diperhitungkan atau diabaikan.
2. Kondisi suhu yang digunakan dalam proses pelindian adalah 85°C.
3. Variasi Waktu yang digunakan dalam proses pelindian adalah 1 hari, 3 hari, dan 5 hari.
4. Proses pelindian dilakukan dengan menggunakan larutan asam sitrat dan asam asetat dengan variasi konsentrasi, yaitu: 2 M, 4 M, 6 M.

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

Provinsi Sulawesi Tengah memiliki luas  $\pm 61.841,29 \text{ km}^2$  terletak pada posisi antara 119° 22' 00" – 124° 22' 00" Bujur Timur dan antara 2° 28' 00" Lintang Utara – 3° 48' 00" Lintang Selatan. Secara administratif Provinsi Sulawesi Tengah di sebelah utara berbatasan dengan Laut Sulawesi dan Provinsi Gorontalo, sebelah timur berbatasan dengan Provinsi Maluku, sebelah selatan berbatasan dengan Provinsi Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat, dan sebelah barat berbatasan dengan Selat Makassar.

Lokasi penelitian berada di desa Bungintimbe, Kecamatan Petasia Timur, Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah yang secara administratif terletak pada 2°04'23.19" S dan 121°26'14.19" E dan dapat ditempuh melalui jalur udara dari Kota Makassar menuju Morowali dengan menggunakan pesawat terbang dengan waktu tempuhnya selama  $\pm 1$  jam. Setelah itu untuk mencapai lokasi dapat ditempuh menggunakan sarana transportasi darat dengan waktu tempuh sekitar 1 jam 30 menit. Lokasi kerja praktik juga dapat ditempuh

menggunakan transportasi darat berupa bis dengan waktu tempuh  $\pm$  16 jam. Peta tunjuk lokasi daerah penelitian dapat dilihat pada Lampiran 1.

## 1.7 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yang dimulai dengan persiapan, pengambilan sampel bijih nikel laterit kadar rendah, studi literatur, penelitian di laboratorium, pengolahan data dan penyusunan laporan tugas akhir. Tahapan-tahapan penelitian dapat dijelaskan seperti 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. Pengambilan Sampel Bijih Limonit

Sampel bijih limonit diambil dari lokasi tambang PT Bukit Makmur Istindo Nikeltama di Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah pada tanggal 09 Februari 2022. Sampel diambil dengan menggunakan skop dan karung. Pengambilan sampel juga disertai dengan pengambilan titik koordinat dan dokumentasi yang menunjang penulisan tugas akhir.

3. Studi Literatur

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

4. Penelitian di Laboratorium

Tahapan penelitian di laboratorium meliputi preparasi sampel yang telah diambil di lokasi penelitian, proses pelindian, karakterisasi awal dan karakterisasi akhir hasil pelindian. Proses pelindian dilakukan dengan membandingkan penggunaan asam sitrat ( $C_6H_8O_7$ ) dan asam asetat ( $CH_3COOH$ ) pada tekanan atmosferik 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 sebelum dan sesudah pelindian sehingga bisa diketahui besar laju pelindiannya.

5. 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 (*X-Ray Diffraction*) dan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) sebelum maupun sesudah dilakukan proses pelindian dibandingkan hasil penelitian tersebut dikaji untuk mengetahui perolehan Ni dan karakteristik mineralogi sampel yang diteliti.

6. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

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

## BAB II BIJIH NIKEL LATERIT

### 2.1 Nikel

Nikel adalah unsur kimia metalik yang terdapat dalam tabel periodik dan memiliki simbol Ni dengan nomor atom 28 dan memiliki massa jenis  $8.90 \text{ gr/cm}^3$ . Nikel merupakan logam fasa padat dengan titik lebur  $1453^\circ\text{C}$  dan setelah melebur akan berubah menjadi fasa cair dengan titik didih sebesar  $2732^\circ\text{C}$ . Nikel memiliki konduktivitas elektrik sebesar 22% dengan Struktur kristal dari mineral nikel adalah kubus berpusat muka dengan kekerasan 3,8 *Mohs*. Nikel adalah salah satu logam yang paling penting dan banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan kehidupan sehari-hari seperti paduan nikel, *elektroplating*, baterai dan penggunaan paling banyak adalah sebagai baja tahan karat (*stainless steel*) yang banyak diaplikasikan pada peralatan dapur (sendok, dan peralatan memasak), ornamen-ornamen rumah dan gedung, serta komponen industri. Dalam keadaan murni, nikel bersifat lembek, tetapi jika dipadukan dengan besi, krom, dan logam lainnya, dapat membentuk baja tahan karat yang keras (Barkas, 2010).

Nikel dapat ditemukan dalam bentuk nikel sulfida dan nikel laterit. Meskipun jumlah total cadangan nikel dunia dalam bentuk laterit jauh lebih 10 banyak dibandingkan dengan bijih nikel sulfida (secara berurutan 72% berbanding 28%), sampai saat ini, cadangan nikel jenis sulfida masih menjadi bahan baku utama dalam proses ekstraksi nikel di dunia (Kusuma, 2012). Seiring dengan waktu, jumlah cadangan nikel sulfida akan semakin berkurang akibat eskplotasi yang dilakukan terus-menerus. Oleh karena itu, pemanfaatan nikel laterit sebagai bahan baku akan berperan penting dalam proses produksi nikel dunia di masa mendatang. Perbedaan antara nikel sulfida dan nikel laterit ditampilkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 1. Perbedaan antara Nikel Sulfida dan Nikel Laterit

No	Nikel Sulfida	Nikel Laterit
1	Jenis ini dibentuk dari proses presipitasi dan segregasi mineral yang terjadi dalam tuang magma atau aliran lava	Jenis ini dibentuk dari proses pelapukan batuan ultramafik pada daerah tropis dan subtropis

No	Nikel Sulfida	Nikel Laterit
2	Jenis ini merupakan <i>high grade nickel</i> sebesar 0,15-8%	Jenis ini merupakan <i>low grade nickel</i> dengan kadar nikel sekitar 1-1,6%
3	Jenis nikel ini ditemukan pada kedalaman ratusan meter di bawah permukaan tanah, sehingga biaya penambangan jenis nikel ini relative lebih mahal	Jenis nikel ini ditemukan pada tempat yang relatif lebih dangkal, yaitu sekitar 15-20 meter di bawah permukaan tanah, sehingga biaya penambangan jenis ini relatif lebih murah

Sumber: (Kusuma, 2012; Shofi, 2003; Simate, 2010; British Geological Survey, 2008)

Nikel sangat baik menyerap hidrogen, penyerapan hidrogen meningkat seiring dengan meningkatnya suhu. Bahkan pada suhu kamar oklusi yang cukup besar pada hidrogen dapat diamati ketika ion hidrogen dibuang pada elektroda nikel berpori. Ikatan nikel dapat diputus dengan tekanan dan suhu dengan pembentukan oksida dan hidrogen. Nikel bersifat elektropositif sama halnya dengan kobal. Nikel dapat larut pada asam yang memiliki konsentrasi rendah dan relatif lebih lambat dibandingkan dengan besi. Sifat nikel yang terkenal adalah daya tahannya terhadap alkali pekat (Nicholls, 1973).

Nikel adalah salah satu logam paling penting dan banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan kehidupan sehari-hari. Nikel adalah logam penting yang digunakan dalam produksi *stainless steel* dan campuran logam (Zhu dan Cui, 2012). Penggunaan nikel saat ini 60% digunakan sebagai bahan baku *stainless steel*, penggunaan *stainless steel* digunakan untuk berbagai macam kebutuhan seperti peralatan proses industri, peralatan pembangkit listrik, peralatan transportasi, peralatan dapur dan masih banyak lagi pemanfaatannya pada peralatan yang membutuhkan kekuatan dan ketahanan korosi (Anyadike, 2002). Nikel juga dimanfaatkan untuk *nickle alloy* sebesar 14%, *casting* dan *alloy steel* sebesar 9%, *electroplating* sebesar 9% dan baterai yang dapat diisi ulang sebesar 5% (Mudd, 2010).

Kegunaan Nikel adalah:

a. *Stainless Steel*

Negara Amerika Serikat mengonsumsi nikel untuk bahan baku *stainless steel* sebesar 41,89% (McRae, 2018). Nikel digunakan dalam baja untuk meningkatkan kekuatan, ketangguhan dan kemampuan untuk mengeras. Struktur baja karbon berubah pada proses pendinginan dari *austenitic* (larutan besi dan paduan yang padat elemen) ke campuran ferit dan sementit. Dalam jumlah yang cukup nikel dapat menstabilkan struktur *austenitic*. Meningkatkan kandungan nikel dalam baja kromium 18% menjadi sekitar 8% hingga 10% mengurangi resistensi terhadap retak korosi tegang (*Stress-Corrosion Creck*) dan menghasilkan kelas yang sangat penting dari baja yang tahan korosi dan panas (Davis, 2000). Dalam pembuatannya, *stainless steel* diproduksi dari NPI (*Nickel Pig Iron*). Untuk memproduksi *stainless steel*, China menggunakan nikel (Ni) dari NPI sebesar 53% dan yang lainnya diproduksi dari industri lain.

b. *Other Steel Alloys*

Negara Amerika Serikat mengonsumsi nikel untuk *othe steel alloys* sebesar 15,07% (Mcrae, 2018). Nikel merupakan tambahan penting untuk besi cor yang meningkatkan kekerasan, kelenturan dan keerasan bijinya. Paduan nikel-besi juga memiliki karakteristik pemuai rendah yang sangat berguna yang membuatnya cocok untuk penyimpanan gas cair di mana suhu rendah diperlukan. Ini adalah aplikasi yang berkembang pesat karena negara Inggris memiliki ketergantungan terhadap gas alam sehingga hal tersebut menyebabkan meningkatnya impor gas alam (Bide *et al.*, 2008).

c. *Non-Ferrous Alloys*

Negara Amerika Serikat mengonsumsi nikel untuk *non-ferrous alloys* sebesar 11,02% (Mcrae, 2018). Paduan yang paling umum dari *non-ferrous alloys* adalah *cupronickels*, sebuah paduan antara nikel dan tembaga yang digunakan secara luas dalam koin karena tahan terhadap korosi. *Cupronickels* dengan kandungan nikel 10% – 30% telah lama dikenal akan ketahanannya terhadap air laut dan potensial elektrodanya juga dapat disesuaikan sehingga stabil di air laut sehingga dapat digunakan untuk aplikasi laut, khususnya di bidang tabung penukar panas, kondensor, pipa air asin, dan lain sebagainya (Davis, 2000).

#### d. *Super Alloys*

Negara Amerika Serikat mengonsumsi nikel untuk *super alloys* adalah sebesar 23,33% (Mcrae, 2018). *Superalloys* adalah paduan nikel, besi-nikel, dan kobal-base yang umumnya digunakan pada suhu di atas sekitar 540°. Mereka memiliki struktur Kristal kubik berpusat wajah (fcc, *austenitic*). Besi, kobal, dan nikel adalah logam transisi dengan posisi berturut-turut dalam tabel periodik elemen. *superalloy* dasar besi nikel adalah perpanjangan dari teknologi *stainless steel* dan umumnya tempa, sedangkan *superalloy* kobal dan nikel dapat ditempa atau dicampur, tergantung pada aplikasi / komposisi yang dibutuhkan (Davis, 2000).

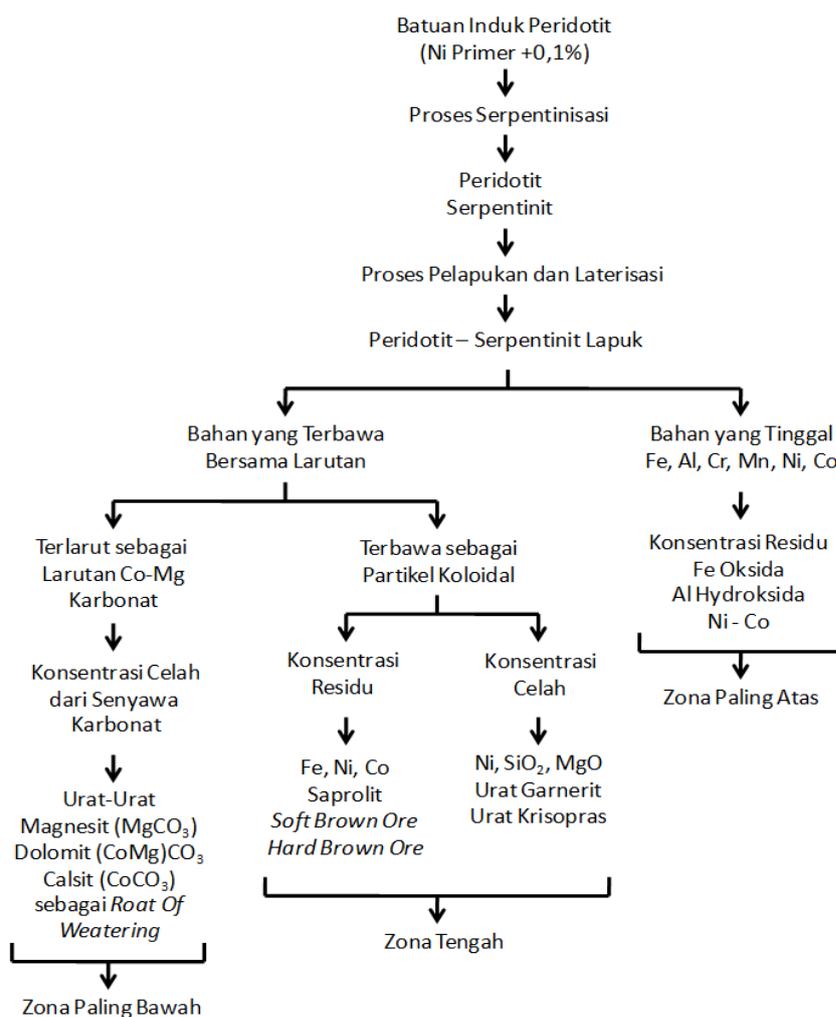
## 2.2 Genesis Endapan Nikel Laterit

Laterit merupakan suatu produk yang dihasilkan dari proses pelapukan secara kimiawi dan berlangsung dalam waktu yang lama. Laterit terbentuk melalui proses pemecahan mineral induk yang tidak stabil pada kondisi lingkungan yang basah/lembab dan terjadi pelepasan unsur-unsur kimia ke dalam air tanah. Unsur-unsur kimia yang mudah larut dalam air tanah yang bersifat asam, hangat, dan lembab. Hal ini menyebabkan unsur-unsur yang tidak mudah larut tersisa dan membentuk mineral baru yang stabil pada kondisi lingkungan tersebut. Proses ini disebut dengan proses laterisasi (Shofi, 2003; Asy'ari, 2013).

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).

Asal mula pembentukan endapan nikel laterit berasal dari batuan peridotit [(Mg,Fe, Ni)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>] yang mengalami proses serpentinisasi dan kemudian terekspos ke permukaan. Pada kondisi iklim tropis dengan musim kemarau dan hujan yang

berganti-ganti, proses pelapukan terjadi secara terus-menerus, sehingga batuan tersebut menjadi rentan terhadap proses pelindihan (leaching). Sirkulasi air permukaan yang bersifat asam akan mengabsorpsi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dari atmosfer dan mempercepat proses pelapukan dan pelindihan menjadi lebih intensif. Air permukaan ini akan terkayakan kembali oleh material-material organik yang meresap ke bawah mencapai zona pelindihan di mana fluktuasi air tanah berlangsung. Fluktuasi ini mengakibatkan air tanah yang kaya  $\text{CO}_2$  akan berkontak dengan nikel laterit yang masih mengandung batuan asal, kemudian melarutkan mineral-mineral yang tidak stabil, seperti serpentin dan piroksen. Logam magnesium (Mg), silika (Si), dan nikel (Ni) akan larut dan terbawa oleh aliran air tanah dan mengendap kembali, sehingga menghasilkan mineral-mineral baru (Asy'ari, 2013; Sutisna, 2006).



Gambar 1 Pembentukan profil nikel laterit (Djadjulit, 1992 dalam sustina, 2006).

Secara horizontal penyebaran nikel tergantung kepada arah aliran air tanah dan bentang alam. Air tanah di zona pelindian mengalir dari pegunungan ke arah lereng sambil membawa unsur Ni, Mg, dan Si. Berdasarkan cara terjadinya, endapan nikel dapat digolongkan menjadi dua macam, yaitu endapan bijih Ni-sulfida (primer) dan Ni-laterit (sekunder). Proses pembentukan Ni-laterit merupakan proses dekomposisi sekunder endapan Ni-sulfida yang diawali dari pelapukan batuan ultrabasa seperti harzburgit, dunit, dan piroksenit. Dalam deret Bowen, batuan ini banyak mengandung olivin, piroksen, magnesium silikat dan besi.

Endapan ini akan terakumulasi dekat ke permukaan tanah, sedangkan magnesium, nikel dan silikon akan tetap tertinggal di dalam larutan dan bergerak turun selama suplai air yang masuk ke dalam tanah terus berlangsung. Rangkaian proses ini merupakan proses pelapukan dan pelindian. Unsur Ni merupakan unsur tambahan di dalam batuan ultrabasa. Sebelum proses pelindian berlangsung, unsur Ni berada dalam ikatan kelompok silikat terutama olivin dan serpentin. Rumus kimia kelompok silikat adalah  $M_2-3SiO_2O_5(OH)_4$ , dengan variabel  $M$  merupakan unsur-unsur seperti Cr, Mg, Fe, Ni, Al, Zn atau Mn atau dapat juga merupakan kombinasinya.

Adanya suplai air yang mengalir melalui kekar akan membawa nikel turun ke bawah dan lambat laun akan terkumpul di zona permeabel yang tidak dapat menembus batuan induk. Apabila proses ini berlangsung terus menerus, maka akan terjadi proses pengayaan supergen yang berada di zona saprolit. Dalam satu penampang vertikal profil laterit dapat terbentuk zona pengayaan lebih dari satu karena muka air tanah yang selalu berubah-ubah akibat perubahan musim.

Di bawah zona pengayaan supergen terdapat zona mineralisasi primer yang tidak terpengaruh oleh proses oksidasi maupun pelindian, yang sering disebut sebagai zona hipogen. Zona pelapukan kimiawi yang kaya akan bijih nikel berada pada zona saprolit. Bijih nikel tidak hanya berasosiasi dengan garnierit, tapi Ni juga dapat mensubstitusi Fe dan Mg pada mineral silikat, khususnya serpentin. Komposisi kimia dari mineral-mineral mafik (olivin) dalam Iherzolit yang mengandung Ni dan Cr misalnya pada endapan Ni-laterit Soroako, Sulawesi Selatan.

Pembentukan nikel laterit dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya adalah (Elias, 2002):

a. Batuan asal

Adanya batuan asal merupakan syarat utama untuk terbentuknya endapan nikel laterit. Batuan asal yang berperan penting dalam pembentukan nikel laterit berupa batuan ultrabasa seperti harzburgit. Batuan ultrabasa mengandung mineral-mineral yang kurang stabil dan mudah melapuk seperti olivin dan piroksin. Oleh karena itu, batuan ultrabasa mempunyai komponen-komponen yang mudah larut dan memberikan lingkungan pengendapan yang baik untuk nikel.

b. Iklim

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

c. Senyawa kimia dan vegetasi

Senyawa kimia merupakan faktor yang mempercepat proses pelapukan, seperti air tanah mengandung  $\text{CO}_2$  yang bersifat asam berperan penting dalam proses pelapukan kimia. Terkait dengan faktor vegetasi terdapat asam humus yang menyebabkan dekomposisi batuan serta mengubah pH larutan. Jenis vegetasi suatu daerah erat hubungannya dengan terbentuknya asam humus di daerah tersebut. Dalam hal ini, vegetasi yang rapat dan bervariasi mempengaruhi penetrasi air lebih dalam sehingga air tanah yang terkumpul akan lebih banyak dan untuk terbentuknya lebih tebal. Kondisi ini merupakan lingkungan yang baik untuk terbentuknya endapan nikel berkadar tinggi.

d. Struktur geologi

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

Sebagai contoh, di daerah Pomalaa terdapat struktur kekar yang lebih dominan dibandingkan dengan struktur patahannya. Daerah ini disusun oleh batuan ultrabasa sebagai saluran tempat naiknya magma yang mengandung unsur nikel, sehingga struktur ini menjadi salah satu faktor dalam pembentukan cebakan bijih nikel.

e. Topografi

Topografi setempat sangat berpengaruh terhadap sirkulasi air dan senyawa lain; untuk daerah landai, air akan bergerak perlahan sehingga dapat menembus batuan lebih dalam melalui rekahan atau pori batuan. Endapan mengandung nikel akan terakumulasi pada daerah landai sampai kemiringan sedang. Hal ini menunjukkan ketebalan pelapukan tergantung kepada bentuk topografi. Pada daerah yang curam, air limpasan (*run off*) lebih banyak daripada air yang meresap sehingga pelapukannya kurang intensif.

f. Waktu

Semakin lama waktu pelapukan semakin besar endapan nikel yang terbentuk.

Pembentukan nikel laterit yang terdiri atas empat horizon yaitu (Elias, 2002):

1) Tudung besi (*iron cap*)

Tudung besi merupakan material lapisan berukuran lempung, berwarna coklat kemerahan, dan biasanya terdapat juga sisa-sisa tumbuhan. Lapisan dengan konsentrasi besi yang cukup tinggi sekitar  $>50\%$  dan kandungan nikel yang rendah  $<0,6\%$ , atau merupakan laterit residu yang dapat terbentuk pada bagian atas dari profil dan melindungi lapisan endapan nikel laterit dibawahnya. Lapisan ini kadang-kadang ditemukan hematit dan kromiferus.

2) Zona limonit

Zona limonit merupakan lapisan yang kaya besi sekitar 40-50% Fe, berukuran halus dan berwarna merah coklat atau kekuningan. Dalam limonit, sebagian besar nikel berada dalam gutit sebagai larutan padat, sebagian lagi berada dalam oksida mangan dan litioforit. Dalam lapisan ini

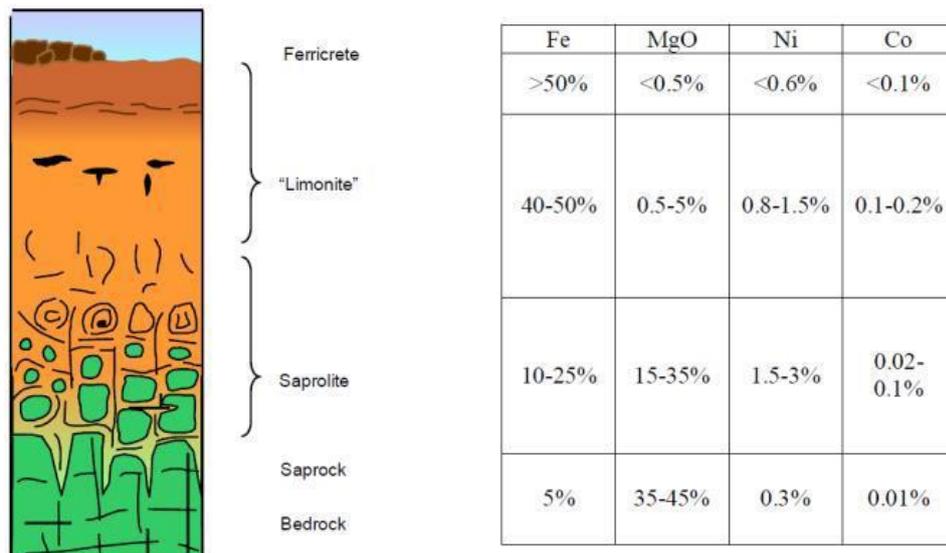
juga kadang-kadang ditemukan talk, tremolit, kromiferus, kuarsa, gipsit dan magemit.

3) Zona saprolit

Dalam lapisan ini, mineral utamanya adalah serpentin ( $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ ); nikel mensubstitusi Mg. Bijih saprolit memiliki kandungan nikel lebih tinggi daripada yang terdapat pada lapisan limonit, yaitu sekitar 1,5-3% Ni. Kandungan magnesia dan silikanya juga lebih tinggi, namun kadar besinya rendah.

4) Batuan dasar (*bedrock*)

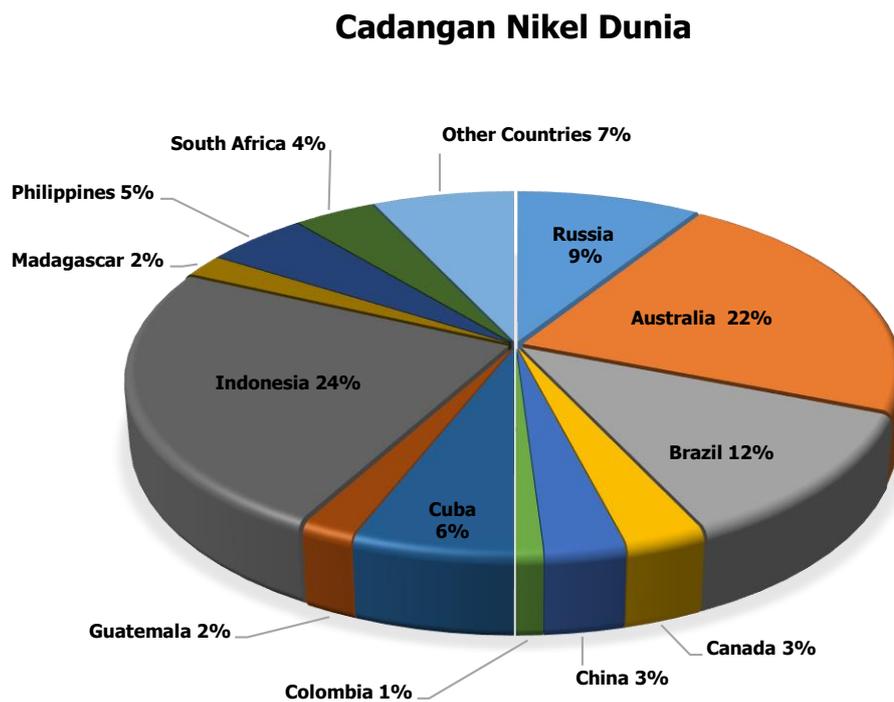
Bagian ini berbentuk bongkah berukuran  $>75$  cm. Secara umum kadar nikelnya kecil, sekitar 0,2 - 0,4% nikel. Zona ini mengalami perengkahan kuat dan kadang- kadang bersifat terbuka dan terisi oleh garnierit dan silika. Perengkahan ini diperkirakan menjadi *root zone* yaitu suatu zona dengan kandungan nikel tinggi berupa urat dalam batuan dasar. Profil endapan nikel laterit secara detail diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Profil endapan nikel laterit (Elias, 2002).

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki endapan bijih nikel laterit dalam jumlah yang cukup besar. Endapan nikel laterit yang terdapat di Indonesia tersebar di beberapa daerah seperti di Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Maluku, dan Papua (Subagja dkk., 2016). Potensi deposit dari bijih nikel Indonesia mencapai 2,1 milyar ton atau sekitar 24% dari total sumber daya

nikel di dunia. Negara-negara yang memiliki cadangan bijih nikel laterit yang besar adalah Indonesia, Australia, dan Brazil. Dari data tersebut, Indonesia sebagai pemilik cadangan nikel laterit terbesar seharusnya dapat menjadi produsen material yang berbahan baku nikel seperti baja tahan karat dan baja paduan nikel lainnya (Mcrae, 2019). Distribusi cadangan nikel dunia dapat dilihat pada Gambar 3.

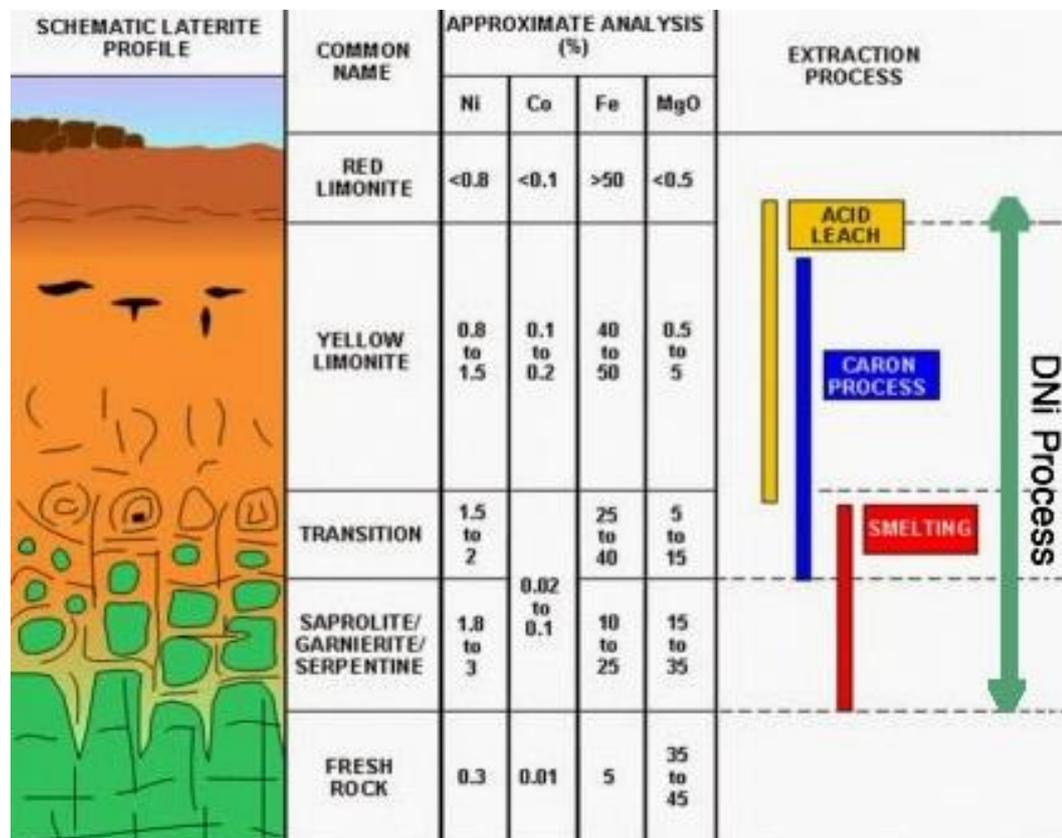


Gambar 3 Distribusi cadangan nikel dunia (Mcrae, 2019).

### 2.3 Pengolahan Bijih Nikel Laterit

Logam Nikel diperoleh dari endapan nikel laterit yang telah diambil dan melalui proses pengolahan. Ada beberapa jalur proses pengolahan yang dapat digunakan untuk mendapatkan logam nikel tersebut seperti yang ada pada Gambar 4. Pemilihan jalur proses yang akan digunakan untuk proses pengolahan dipengaruhi oleh karakteristik ataupun komposisi 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 pirometalurgi dan hidrometalurgi dapat mengolah bijih nikel laterit dari zona limonit dan saprolit.



Gambar 4 Tampilan klasik opsi pemrosesan untuk laterit nikel (Brand et al, 1998 dalam Oxley & Barcza, 2013).

Proses pengolahan nikel laterit yang diterapkan secara komersial didasarkan pada kandungan magnesium (Mg) dan rasio nikel dengan besi (Ni/Fe). Saat ini metode yang ekonomis untuk digunakan dalam pengolahan bijih nikel yaitu metode pirometalurgi dan metode hidrometalurgi. Metode pirometalurgi digunakan untuk mengolah nikel dari nikel endapan laterit zona saprolit yang memiliki kadar Ni dan MgO yang tinggi. Metode pirometalurgi digunakan untuk mengolah nikel dari nikel endapan laterit zona limonit yang memiliki kadar Ni dan MgO yang rendah. Nikel dengan kadar MgO yang tinggi kurang cocok diolah dengan menggunakan metode hidrometalurgi karena dapat meningkatkan konsumsi asam yang diperlukan saat melakukan proses ekstraksi (Prasetyo & Ronald, 2011).

### 2.3.1 Pirometalurgi

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

Kelebihan dari metode ekstraksi pirometalurgi adalah (Kyle, 2010):

- a. Prosesnya sederhana dan terbukti dengan baik.
- b. Dapat menangani bijih magnesium tinggi (yang umumnya mengandung konsentrasi nikel tinggi). Pemulihan nikel tinggi (90%).
- c. Residu berbentuk granular dan mudah dibuang.
- d. Reagen umumnya tidak mahal dan tersedia.

Kekurangan dari metode ekstraksi pirometalurgi adalah (Kyle, 2010):

- a. Biaya modal tinggi.
- b. Penggunaan energi tinggi dan ekonomi proyek sangat sensitif terhadap biaya listrik.
- c. Hanya dapat menangani bijih magnesium tinggi - pencampuran yang diperlukan untuk menjaga rasio  $\text{SiO}_2 / \text{MgO}$ .
- d. Kobal tidak ditemukan sebagai produk terpisah.

### 2.3.2 Hidrometalurgi

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

- a. *Atmospheric Leaching* (AL)

*Atmospheric leaching* (AL) adalah proses untuk mengekstraksi suatu bahan yang dapat larut dari suatu padatan dengan menggunakan pelarut pada tekanan atmosfer. Proses kimia dari *Atmospheric Leaching* 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 *High Pressure Acid Leaching* yang mahal. Namun, terdapat dua masalah utama yang harus dihadapi pada penggunaan *atmospheric leaching* yaitu kinetika ekstraksi nikel yang lambat dan kemudahan dalam memisahkan logam pada proses selanjutnya misalnya, ekstraksi nikel dengan metode *atmospheric leaching* cenderung mengandung konsentrasi yang signifikan dari besi dan aluminium yang larut (McDonald and Whittington, 2008). Jika dibandingkan dengan proses HPAL, proses ini lebih menguntungkan karena kebutuhan energi tidak setinggi proses HPAL, sehingga biaya operasional proses ini jauh lebih rendah (Kusuma, 2012). Proses leaching dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dapat dilakukan untuk meningkatkan hasil *recovery* mineral, yaitu (McDonald, 2008; Kusuma, 2012):

1) Suhu operasi

Suhu yang digunakan dalam proses *leaching* akan mempengaruhi kinetika reaksi. Hal ini dapat dilihat dari persamaan Arrhenius. Penggunaan suhu operasi yang semakin tinggi menyebabkan terjadinya peningkatan *recovery* mineral yang terlindi.

2) Ukuran partikel

Ukuran partikel bijih akan mempengaruhi seberapa besar luas permukaan yang akan terkontak dengan *leachant*. Pada berat sampel yang sama, penurunan ukuran partikel bijih akan menghasilkan luas permukaan total yang lebih besar. Hal ini akan mengakibatkan *recovery* mineral akan meningkat.

- 3) Densitas *pulp*

Densitas *pulp* dapat diartikan sebagai perbandingan massa partikel terhadap volume asam yang digunakan. Pada umumnya, densitas *pulp* yang semakin besar juga akan meningkatkan luas permukaan total dan meningkatkan hasil *recovery* mineral.
- 4) Jenis asam dan konsentrasi asam

Jenis asam yang dapat digunakan pada proses leaching dapat berupa jenis asam inorganik (misalnya asam sulfat) maupun asam organik (misalnya asam sitrat). Perbedaan jenis asam ini akan mempengaruhi hasil akhir proses leaching. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan asam inorganik akan menghasilkan *recovery* mineral yang lebih tinggi dibandingkan dengan asam organik.
- 5) Penambahan senyawa lain

Untuk meningkatkan nilai *recovery* mineral, beberapa penelitian mengenai proses leaching mineral menambahkan beberapa senyawa lain yang berperan sebagai reduktor/oksidator dapat mempengaruhi proses redoks dalam proses leaching, sedangkan penambahan garam akan mengakibatkan terjadinya proses kompleksasi ion logam dengan ion negatif yang terkandung dalam asam.
- 6) Kecepatan pengadukan

Kandungan mineral dalam bijih akan mempengaruhi proses *leaching*, maka tumbukan antar molekul akan semakin besar. Akibatnya, laju proses *leaching* akan meningkat.
- 7) Komposisi mineral yang terkandung dalam bijih

Kandungan mineral dalam bijih akan mempengaruhi proses *leaching*. Sebagai contoh, nikel laterit jenis saprolit mengandung magnesium dan aluminium yang tinggi dibandingkan dengan jenis limonit. Apabila nikel laterit jenis saprolit dilakukan proses *leaching*, maka akan dibutuhkan jumlah asam yang tinggi. Hal ini akan menyebabkan proses *leaching* pada nikel laterit jenis saprolit tidak efektif.
- 8) Perlakuan bijih sebelum proses leaching (*pre-treatment*)

Pada beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, proses pre-treatment dilakukan untuk mengubah fasa mineral dengan cara proses pembakaran. Sebagai contoh, pada proses leaching nikel laterit jenis limonit, proses pemanasan nikel laterit dilakukan untuk mengubah fasa geotit menjadi hematit. Penggunaan proses pre-treatment ini dilakukan untuk mengefisiensikan proses leaching dalam upaya untuk mempercepat proses leaching dan meminimalkan penggunaan jumlah asam. Namun dalam skala industri, proses pre-treatment ini tidak banyak dilakukan karena biaya operasional akan meningkat pada saat proses pemanasan bijih.

9) Waktu

Semakin lama proses leaching dilakukan akan meningkatkan hasil *recovery* mineral. Hal ini dikarenakan proses kontak asam dan padatan akan semakin terus terjadi.

Kelebihan proses atmospheric leaching adalah (Kyle, 2010):

- a) Proses ini dapat diterapkan untuk laterites kelas yang relatif rendah ( $<1,5\%$  Ni) dan menggunakan bijih limonit dan saprolit.
- b) Ekstraksi nikel dan kobalt tinggi dibandingkan dengan tumpukan pelindian (umumnya  $> 90\%$  untuk nikel dan  $> 80\%$  untuk kobalt).
- c) Kelebihan asam sulfat bebas dinetralisasi dengan bijih saprolit.
- d) Pembakaran sulfur untuk menghasilkan asam sulfur menghasilkan keseimbangan energi positif secara keseluruhan.

Kekurangan proses atmospheric leaching adalah (Kyle, 2010):

- a) Waktu pencucian jauh lebih lama dan pemulihan logam lebih rendah.
- b) Konsumsi asam sulfat lebih tinggi (umumnya dari 500 hingga 700 kg per ton bijih).
- c) Pemisahan padat-cair tidak efisien.
- d) Sejumlah besar cairan efluen magnesium sulfat diproduksi untuk dibuang.

b. *High Pressure Acid Leaching* (HPAL)

Proses HPAL merupakan proses ekstraksi yang awalnya dikembangkan oleh Sheritt Gordon Canada untuk mengolah limonit murni yang

jumlahnya berlimpah di Pinares de Mayari Cuba. HPAL merupakan proses metode ekstraksi hidrometalurgi yang sudah dapat digunakan secara komersial. Biaya pembangunan HPAL dan proses caron sama-sama mahal tapi memiliki tingkat perolehan yang berbeda dimana HPAL memiliki perolehan nikel ( $Ni > 90\%$ ) dan kobal ( $Co > 90\%$ ) sedangkan proses caron memiliki perolehan nikel ( $Ni: 70\% - 80\%$ ) dan kobal ( $Co \pm 50\%$ ) (Prasetyo dan Ronald, 2011). Teknologi HPAL dapat mengolah bijih nikel laterit kadar rendah, selain itu teknologi HPAL dapat mengolah bijih dengan berbagai kandungan mineral yang terkandung dalam bijih laterit dengan berbagai macam mineral yang beragam. Namun, HPAL memerlukan energi tambahan untuk pemanasan material bijih jika pemanasan memanfaatkan uap dari *autoclave* tidak memadai. Disisi lain, penggunaan asam dapat menyebabkan korosi pada mesin dan pabrik.

c. *Heap Leaching*

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

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

d. *Enhanced Pressure Acid Leaching (EPAL)*

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

e. *Atmospheric Chloride Leaching Process (ACLPL)*

*Atmospheric chloride leaching process* merupakan salah satu proses yang dapat dijadikan solusi dalam pengolahan bijih nikel kadar rendah. Pada proses ini, penggunaan asam dan suhu yang rendah dengan tekanan atmosfer merupakan salah satu solusi dalam pengolahan yang hemat energi dibandingkan dengan metode HPAL. Kelebihan lainnya dari proses ACLPL yakni sisa asam dari pelindian yang dilakukan dapat diolah kembali menggunakan metode pirolisis. Persen ekstraksi Ni dan Co dari proses ini dapat mencapai Ni >90% dan Co >80%. Namun terlepas dari beberapa kelebihannya, proses ini memiliki kerugian yakni biaya perawatan alat yang cukup besar karena penggunaan asam kuat yang dapat membuat alat tidak tahan terhadap korosi.

## 2.4 Analisis Mikroskopis

Kegiatan yang dilakukan untuk mengetahui jenis-jenis mineral atau hubungan antar mineral logam dengan mengamati tekstur mineral bijih disebut dengan pengamatan mineragrafi. Pengamatan mineragrafi yang akan dilakukan menggunakan sayatan poles/ sayatan tipis dan alat mikroskop. Sifat optik dan sifat fisik merupakan bentuk identifikasi mineral bijih yang mana sifat optik itu sendiri antistropisme, warna, refleksi ganda, dan refleksi dalam sedangkan sifat fisik meliputi bentuk kristal, habit, belahan dan kembaran (Craig and Vaughan, 1981).

Mikroskop polarisasi adalah mikroskop yang memanfaatkan cahaya terpolarisasi guna untuk mengamati objek yang salah satunya merupakan sayatan tipis (*thin section*) batuan. Mikroskop petrografis modern menggunakan pencahayaan dari lampu yang berada di bagian bawah mikroskop yang ditembakkan ke arah lensa objektif. Perbedaan mikroskop polarisasi dengan mikroskop lain adalah terdapat 2 metode pengamatan berupa pengamatan nikol sejajar (*plane polarized light*) dan pengamatan nikol bersilang (*cross polarized light*) (Judith, 1981). Jenis mikroskop polarisasi memiliki bentuk yang hampir sama dengan mikroskop pada umumnya, namun fungsinya tidak hanya memperbesar benda-benda mikro dan menggunakan cahaya biasa, pada mikroskop polarisasi cahaya yang digunakan adalah cahaya terpolarisasi. Cahaya terpolarisasi terpusat pada satu arah, sedangkan cahaya biasa bergerak dalam arah gerakan acak. Dengan cahaya terpolarisasi ini kita dapat melihat ciri-ciri atau sifat-sifat dari kristal dan mineral secara jelas, terutama dari segi warna, karena setiap mineral memiliki warna tersendiri. Selain itu yang membedakan antara mikroskop konvensional dengan mikroskop polarisasi adalah adanya beberapa komponen tambahan pada mikroskop polarisasi, seperti keping analisator, kompensator, polarisator, dan lensa *amici-bertrand* (Isbandi, 1986).

## 2.5 X-Ray Diffraction (XRD)

XRD merupakan alat difraktometer yang menggunakan prinsip difraksi. Analisis XRD adalah metode yang sangat penting untuk mengkarakterisasi struktur kristal material. Teknik ini biasanya dapat digunakan untuk analisis parameter kisi kristal tunggal, atau tahap tersebut, tekstur atau bahkan stres analisis bahan polikristalin

(seperti serbuk) (Loye, 2013). Difraksi adalah suatu metode eksperimen hamburan elastis, dimana proses transfer/perubahan energi dapat diabaikan dalam proses hamburan tersebut. Informasi yang diperoleh dari metode difraksi ini yakni data koordinat atom-atom dalam kristal yang mendasari sifat dan karakteristik bahan pada umumnya (Bunaciu, *et al*, 2015).

Komponen utama XRD (*X-Ray Diffraction*) yaitu terdiri dari tabung katoda (tempat terbentuknya sinar-X), sampel holder dan pendeteksi. XRD memberikan data data difraksi dan kuantisasi intensitas difraksi pada sudut-sudut dari suatu bahan. Data yang diperoleh dari XRD berupa intensitas difraksi sinar-X yang terdifraksi dan sudut sudut  $2\theta$ . Tiap pola yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu (Widyawati, 2012).

Hasil analisis dengan XRD adalah berupa difraktogram yang berupa susunan garis atau puncak dengan intensitas dan posisi berbeda-beda yang spesifik pada material yang dianalisis. Tiap fase kristalin mempunyai susunan difraktogram yang karakteristik, maka dapat digunakan sebagai sidik jari untuk uji identifikasi (Anthony, 1993). Bentuk keluaran dari difraktometer dapat berupa data analog atau digital. Data analog berupa grafik garis-garis yang terekam per menit sinkron, dengan detektor dalam sudut  $2\theta$  per menit, sehingga sumbu X setara dengan sudut  $2\theta$ . Sedangkan rekaman digital menginformasikan intensitas sinar-X terhadap jumlah intensitas cahaya per detik. Pola difraktogram yang dihasilkan berupa deretan puncak difraksi dengan intensitas relatif bervariasi sepanjang nilai  $2\theta$  tertentu. Besarnya intensitas relatif deretan puncak bergantung pada jumlah atom atau ion yang ada dan distribusinya di dalam sel satuan material. Pola difraksi setiap padatan kristalin sangat khas, yang bergantung pada kisi kristal, unit parameter dan panjang gelombang sinar-X yang digunakan (Warren, 1969).

Ada 2 cara analisis data difraksi, yaitu: (1) analisis kualitatif yang sering disebut dengan proses identifikasi fasa, dengan melalui pencocokan puncak-puncak difraksi dengan kartu PDF (*Powder Diffraction File*). Langkah-langkah dalam mengidentifikasi fasa dengan menggunakan software, terdiri dari: *peak search* (menentukan posisi puncak) dan *search match* dapat dilakukan dengan cara manual maupun cara berbasis komputer. (2) Analisis kuantitatif digunakan untuk

mengetahui informasi lebih lanjut mengenai material yang diuji, yaitu komposisi fasa. Pola difraksi yang diperoleh dari difraktometer menggambarkan status kristalinitas material yang diuji. Yang pertama dapat dilihat dengan kasat mata dari sebuah pola difraksi adalah keberadaan fasa kristal dan fasa amorf. Keberadaan fasa kristal dapat segera dilihat dari adanya puncak-puncak difraksi, sedangkan material amorf memberikan pola berbentuk puncak difraksi atau intensitas latar yang tidak teratur. Komposisi fasa kristal dan material amorf pada material uji dapat dapat dihitung menggunakan metode analisis lanjut dari data difraksi yang telah terukur. Identifikasi berikutnya adalah menentukan fasa (kristal) apa saja yang terdapat di dalam materi uji. Pada dasarnya identifikasi fasa didasarkan pada pencocokan data posisi-posisi puncak difraksi terukur dengan basis data (database) fasa-fasa yang telah dikompilasi, misalnya dalam bentuk kartu PDF (*Powder Diffraction File*). Kartu PDF untuk sebuah fasa berisi informasi mengenai: (1) nama fasa (termasuk nama khas fasa tersebut, misalnya nama mineralnya), (2) sifat fisik dan kristalografi (cara memperoleh material tersebut, densitasnya, grup ruang dan sebagainya), (3) posisi puncak dan intensitas relatif untuk Panjang gelombang radiasi tertentu (Nayiroh, 2014).

## **2.6 Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)**

*Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) adalah suatu alat yang digunakan pada metode analisis untuk penentuan unsur-unsur logam dan metaloid yang pengukurannya berdasarkan penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas. Metode ini sangat tepat untuk analisis zat pada konsentrasi rendah. Interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan sampel merupakan prinsip dasar spektrofotometri serapan atom (Sari, 2010).

AAS adalah alat spektroskopi yang dapat dipercaya dalam menganalisis adanya logam dalam sampel. Alat spektrophometer yang secara khusus mengukur konsentrasi bahan kimia berupa atom bukan senyawa disebut spektrophometer nyala (*flame spectrophometer*) karena menggunakan objek nyala api pembakar. Cara kerja AAS yaitu sampel berupa molekul aka diasosiasikan menjadi atom-atom di dalam nyala api pada alat spectrophometer serapan atom, atom menyerap

energi sehingga atom-atomnya mengalami eksitasi. Energi energi eksitasi ini berasal dari pacarana sinar yang dikeluarkan dari sebuah sumber cahaya (lampu), dimana energi yang terserap sama dengan selisih energi antara dua nivo energi. Peralihan antara dua nivo energi yang melibatkan posisi dasar biasanya mempunyai intensitas pancaran dan serapan yang lebih kuat daripada yang lain. Peralihan dari posisi dasar ke psisi eksitasi yang pertama disebut garis resonasi. Garis resonasi ini sangat penting pada atom absorpsi, sebab pada atom absorpsi ini tiap elemen dalam sampel akan menyerap sinar dengan jumlah jarak gelombang yang terbatas dalam Kawasan spektrum yang sempit. Daro spektrum serapan ini akan dapat diperoleh data-data mengenai zat sampel. Nyala api gas pembakar atom yang ada dalam sebuah proses spektrophometer srapan atom seolah-olah berfungsi sebagai kuvet pada spektrophometer Ultra Violet (UV-Vis) (Sari,2010).

Metode analisi menggunakan AAS terdapat dalam 3 cara yaitu metode standar tunggal, metode kurva kalibrasi dan metode adisi standar. Ketiga metode tersebut menggunakan larutan standar sebagai pembanding. Pada metode standar tunggal, hanya digunakan satu larutan standar yang telah diketahui konsentrasinya. Nilai absorbansi larutan sampel yang diperoleh dari AAS dibandingkan secara langsung terhadap nilai absorbansi larutan standar, sehingga konsentrasi larutan sampel dapat diketahui. Metode menggunakan kurva kalibarasi menggunakan suatu seri larutan standar. Nilai konsentrasi dan absorbansi larutan santar ini dibuat grafik dan dihitung persamman linear. Persamaan linear ini digunakan untuk menghitung konsentrasi sampel berdasarkan nilai absorbansi yang didapatkan. Metode adisi standar dipakai secara luas karena mampu meminimalkan kesalahan yang disebabkan oleh perbedaan kondisi lingkungan (matriks) sampel dan standar. Dalam metode ini dua atau lebih sejumlah volume tertentu diukur absorbansinya tanpa ditambah larutan standar, sedangkan larutan yang lain ditambah terlebih dahulu dengan sejumlah larutan standar tertentu dan diencerkan seperti pada larutan yang pertama (Cantle, 1982).