

**SKRIPSI**

**ANALISIS MINERALOGI DAN KIMIA BIJIH LIMONIT DARI  
SOROWAKO DAN WOLO, SULAWESI: IMPLIKASINYA  
TERHADAP PENGOLAHAN HIDROMETALURGI**

**Disusun dan diajukan oleh**

**MUHAMMAD ZAHNAN MUBAROK**

**D111181331**



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2022**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**ANALISIS MINERALOGI DAN KIMIA BIJIH LIMONIT DARI  
SOROWAKO DAN WOLO, SULAWESI: IMPLIKASINYA  
TERHADAP PENGOLAHAN HIDROMETALURGI**

**Disusun dan diajukan oleh**

**MUHAMMAD ZAHRAN MUBAROK  
D111181331**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 26 Januari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Ir. Irzal Nur, M.T

NIP. 196604091997031002

Plt. Ketua Program Studi,



Dr. Amil Ahmad Ilham, S.T., M.IT.

NIP. 197310101998021001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Zahran Mubarak  
NIM : D111181331  
Program Studi : Teknik Pertambangan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisis Mineralogi dan Kimia Bijih Limonit dari  
Sorowako dan Wolo, Sulawesi: Implikasinya  
Terhadap Pengolahan Hidrometalurgi

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, 26 Januari 2023

Yang menyatakan



Muhammad Zahran Mubarak

## ABSTRAK

Nikel merupakan salah satu logam yang paling banyak digunakan dalam industri, sekitar 70% cadangan nikel dunia dalam bijih laterit baik sebagai lapisan saprolit maupun limonit. Namun demikian, hanya 10% bijih nikel laterit yang diolah. Bijih nikel laterit memiliki kandungan mineral dan komposisi kimia yang kompleks, khususnya pada bijih limonit yang memiliki kadar nikel yang umumnya rendah sehingga perlu dilakukan analisis kandungan mineral dan komposisi kimia dari bijih limonit. Penelitian menggunakan sampel dari dua daerah yakni WIUP PT. Vale Tbk yang terletak di Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan dan WIUP PT. Ceria Nugraha Indotama yang terletak di Kecamatan Wolo, Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara. Analisis yang dilakukan berupa analisis mineralogi dan analisis kimia. Analisis mineralogi menggunakan metode XRD dan Mikroskop polarisasi, sedangkan analisis kimia menggunakan metode XRF. Hasil analisis mineral sampel bijih limonit Sorowako menunjukkan komposisi mineral goetit, talk, klinoklor, hematit, kromit, maghemit, dan kuarsa. Sampel bijih limonit Wolo memiliki komposisi mineral goetit, gibsit, maghemit, talk, monmorillonit, hematit, lizardit, kuarsa. Komposisi beberapa unsur kimia rata-rata sampel bijih limonit Sorowako adalah  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (5,95%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (67,58%),  $\text{MgO}$  (2,22%), Ni (1,42%). Sampel bijih limonit Wolo memiliki komposisi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (12,07%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (62,04%),  $\text{MgO}$  (1,36%), Ni (1,12%). Rata-rata ukuran kristal goetit bijih limonit Sorowako 9,80-19,41 nm, sedangkan bijih limonit Wolo 7,80-9,48 nm. Berdasarkan hasil interpretasi data yang diperoleh dapat diprediksi bahwa pengolahan hidrometalurgi dapat dilakukan lebih efektif menggunakan bijih limonit Sorowako dibandingkan bijih limonit Wolo, karena kadar  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Sorowako yang lebih rendah dan secara ekonomis kadar Ni lebih tinggi.

Kata Kunci: Nikel, limonit, goetit, mikroskopi, hidrometalurgi

## **ABSTRACT**

*Nickel is one of the most widely used metals in industry, around 70% of the world's nickel reserves are in lateritic ores either as saprolite or limonite layers. However, only 10% of the lateritic nickel ore is processed. Lateritic nickel ore has complex mineral content and chemical composition, especially limonite ore which has generally low nickel content, so it is necessary to analyze the mineral content and chemical composition of limonite ore. The study used samples from two regions, namely WIUP PT. Vale Tbk is located in Sorowako, East Luwu Regency, South Sulawesi Province and WIUP PT. Ceria Nugraha Indotama is located in Wolo District, Kolaka Regency, Southeast Sulawesi. The analysis was carried out in the form of mineralogy analysis and chemical analysis. Mineralogical analysis used the XRD method and a polarizing microscope, while chemical analysis used the XRF method. The results of the mineral analysis of the Sorowako limonite ore sample showed the mineral composition of goethite, talc, clinochlor, hematite, chromite, maghemite and quartz. The Wolo limonite ore sample has the mineral composition of goethite, gibbsite, maghemite, talc, monmorillonite, hematite, lizardite, quartz. The average chemical composition of some of the Sorowako limonite ore samples is  $Al_2O_3$  (5.95%),  $Fe_2O_3$  (67.58%),  $MgO$  (2.22%),  $Ni$  (1.42%). The Wolo limonite ore sample has the composition of  $Al_2O_3$  (12.07%),  $Fe_2O_3$  (62.04%),  $MgO$  (1.36%),  $Ni$  (1.12%). The average goethite crystal size of the Sorowako limonite ore is 9.80-19.41 nm, while that of the Wolo limonite ore is 7.80-9.48 nm. Based on the interpretation of the data obtained, it can be predicted that hydrometallurgical processing can be carried out more effectively using the Sorowako limonite ore compared to the Wolo limonite ore, because Sorowako's  $Al_2O_3$  content is lower and economically the  $Ni$  content is higher.*

*Keywords: Nickel, limonite, goethite, microscopy, hydrometallurgy*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita panjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penyusunan laporan penelitian tugas akhir dengan judul **“Analisis Mineralogi dan Kimia Bijih Limonit dari Sorowako dan Wolo, Sulawesi: Implikasinya Terhadap Pengolahan Hidrometalurgi”** dapat diselesaikan dengan toleransi waktu yang diberikan dan guna menjadi salah satu syarat lulus dan mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Tidak lupa kita haturkan salam serta shalawat kepada junjungan besar Baginda Rasulullah yang telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang terang benderang.

Banyak lika-liku yang dihadapi dalam proses pembuatan laporan ini. Masukan serta saran banyak penulis terima dari beberapa pihak dengan tujuan membantu menyelesaikan tugas akhir ini, maka daripada itu penulis mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak berikut:

1. PT. Ceria Nugraha Indotama dan Bapak Suharto Onggang, S.T., M.T., selaku *General Manager* memberikan izin bagi penulis melakukan kegiatan magang dan mengambil data-data yang diperlukan demi kebutuhan tugas akhir di PT Ceria Nugraha Indotama.
2. Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, M.T. selaku Pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing dan mengarahkan agar hasil penelitian tugas akhir dapat berjalan dengan maksimal.
3. Seluruh Bapak/Ibu dosen Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin yang telah memberikan pengetahuan yang sangat bermanfaat selama berkuliah di Departemen Teknik Pertambangan FT-UH.

4. Keluarga Besar Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin Angkatan 2018 (TUNNEL 2018) dan seluruh mahasiswa Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin yang senantiasa memberikan motivasi, dukungan, dan semangat kepada penulis.
5. Kanda Akmal Saputno, S.T., M.T. yang telah memberikan motivasi serta membantu dalam proses pengolahan data penelitian.
6. Kedua Orang Tua penulis yakni, Bapak Dr. Ir. Sufriadin, S.T., M.T. dan Ibu Warzukni Wagimin, S.E., serta dua saudara kakak dan adik, Nurul Muslimah, S.Ars. dan Muh Zahir Makhsun yang telah mendukung, memberikan semangat.

Kritik serta saran yang membangun sangat diharapkan penulis sebagai bentuk pembelajaran tersendiri dalam penyempurnaan baik terhadap laporan ini maupun laporan–laporan berikutnya. Atas perhatian dari semua pihak terkait yang membantu dalam penyelesaian laporan ini, sekali lagi penulis mengucapkan terima kasih. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat untuk kedepannya nanti.

Makassar, Oktober 2022

Muhammad Zahran Mubarak

# DAFTAR ISI

Halaman

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Lokasi Penelitian .....	3
1.6 Tahapan Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1 Geologi Regional.....	6
2.2 Pembentukan Nikel Laterit.....	16
2.3 Zonasi Profil Endapan Nikel Laterit.....	22
2.4 Pengolahan Bijih Nikel Laterit.....	25
2.5 Analisis Mineralogi. ....	46
2.6 Analisis Kimia. ....	49



<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>51</b>
3.1 Preparasi Sampel.....	51
3.2. Analisis Laboratorium. ....	52
3.3. Diagram Alir Penelitian. ....	58
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>60</b>
4.1 Hasil Analisis Mineralogi.....	60
4.2 Hasil Analisis Kimia. ....	70
4.3 Perhitungan Ukuran Kristal Goetit.....	72
4.4 Implikasi Pengolahan Hidrometalurgi .....	73
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>79</b>
5.1 Kesimpulan. ....	79
5.2. Saran. ....	80
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>81</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Peta Lokasi Sampel.....	3
1.2 Metode pengambilan sampel (Instruksi Kerja PT. Ceria Nugraha Indotama, 2017). .....	4
2.1 Peta Geologi Regional Sorowako, Sulawesi Selatan (Simandjuntak dkk,1991). ...	8
2.2 Peta Geologi Regional PT CNI (Rusmana et.al, 1993). ....	13
2.3 Pembentukan Nikel Laterit pada Kekar (Noor,2017). ....	20
2.4 Profil Endapan Nikel Laterit Berdasarkan Zona Pembentukannya (Noor, 2017)...	23
2.5 Profil Nikel Laterit Dengan Metode Pengolahannya (Butt, 2007).....	26
2.6 Diagram Alir Pengolahan Nikel Laterit (Rodrigues, 2013).....	27
2.7 Bagan alir Proses Caron (Kyle,2010).....	31
2.8 Bagan Alir Proses HPAL (Kyle, 2010).....	32
2.9 Bagan Alir Proses <i>Atmospheric Leaching</i> (McDonald dan Whittington, 2008) .....	34
2.10 Bagan Alir Proses <i>Heap Leaching</i> (Fard et.al.,2008) .....	35
2.11 Bagan Alir Proses <i>Enhaced Pressure Acid Leaching</i> (Kyle, 2010) .....	36
2.12 A. Struktur dasar jarak Fe-Fe dalam goetit. B. Pertumbuhan secara Epitaxial yCrOOH pada goetit (Cornell & Schwertmann, 2003). ....	38
2.13 Struktur Kristal Smektit. ....	39
2.14 Model Simulasi serapan Ni pada struktur smektit: A=cis vacant site (cv) and B=trans vacant site (tv), (Dahn, 2003).....	40
2.15 Struktur kristal serpentine (Meunier, 2005) .....	41
2.16 Difraksi Sinar X (Jamaluddin 2010).....	47
2.17 Proses Terjadinya Sinar-X (Jamaluddin dan Adiantoro, 2012).....	49
3.1 Sampel ukuran 200 <i>mesh</i> .....	50

3.2	Sampel ukuran 200 <i>mesh</i> .....	51
3.3	Meletakkan sampel pada <i>sample holder</i> . ....	52
3.4	Sampel dimasukkan ke dalam XRD .....	53
3.5	<i>Running</i> menggunakan komputer .....	53
3.6	Analisis hasil XRD menggunakan aplikasi Match Impact 3. ....	54
3.7	Mikroskop Nikon Eclipse LV100N POL.....	54
3.8	Monitor yang terhubung ke mikroskop. ....	55
3.9	Memasukkan sampel ke dalam alat XRF (Epsilon 4 XRF Spectrometer) .....	56
3.10	Mengoperasikan alat menggunakan software (Epsilon 4 XRF Spectrometer) .....	57
3.11	Mengolah hasil analisis alat dengan aplikasi MS. Excel.....	57
3.12	Diagram Alir Penelitian.....	58
4.1	Fotomikrograf sayatan poles sampel Limonit Sorowako. Mineral yang teridentifikasi adalah Gth=Goetit, Hem=Hematit, Chr=Kromit.....	59
4.2	Fotomikrograf sayatan poles sampel Limonit Wolo. Mineral yang teridentifikasi adalah Gth=Goetit, Srp=Serpentin, Hem=Hematit, Chr=Kromite, Qz=Kuarsa .....	60
4.3	Difraktogram Sampel Limonit Sorowako dengan kode sampel BO-04 .....	61
4.4	Difraktogram Sampel Limonit Sorowako dengan kode sampel INA-5. ....	62
4.5	Difraktogram Sampel Limonit Sorowako dengan kode sampel PET-5 .....	63
4.6	Difraktogram Sampel Limonit Sorowako dengan kode sampel PL-04 .....	63
4.7	Difraktogram Sampel Limonit Sorowako dengan kode sampel PTA-6.....	64
4.8	Difraktogram Sampel Limonit Sorowako dengan kode sampel SL-06 .....	65
4.9	Difraktogram Sampel Limonit Wolo dengan kode sampel SF-01 .....	65
4.10	Difraktogram Sampel Limonit Wolo dengan kode sampel SF-02.....	66
4.11	Difraktogram Sampel Limonit Wolo dengan kode sampel SF-03 .....	67
4.12	Difraktogram Sampel Limonit Wolo dengan kode sampel SF-04.....	67
4.13	Difraktogram Sampel Limonit Wolo dengan kode sampel SF-05.....	68

4.14 Difraktogram Sampel Limonit Wolo dengan kode sampel SF-06..... 69

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
4.1 Hasil Analisis Kimia Sampel Limonit Sorowako. ....	70
4.2 Hasil Analisis Kimia Sampel Limonit Wolo .....	70
4.3 Hasil Perhitungan Ukuran Kristal Goetit Sorowako.....	73
4.4 Hasil Perhitungan Ukuran Kristal Goetit Wolo.....	74

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A Hasil Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	87

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Nikel merupakan logam berwarna perak keputihan yang mempunyai kemampuan untuk menahan terjadinya korosi dan proses oksidasi. Kegunaan nikel dapat digolongkan menjadi 4 kategori, yaitu produksi *stainless steel* (46%), *non-ferrous alloys/superalloys* (34%), *electroplating* (14%), dan kegunaan lainnya, seperti produksi koin, baterai, dan katalis (6%) (Kuck, 2012). Logam nikel dapat diperoleh dari 2 jenis bijih nikel, yaitu nikel sulfida dan laterit. Nikel laterit diartikan sebagai suatu endapan bijih yang terbentuk dari proses pelapukan kimia pada batuan ultramafik (peridotit, dunit dan serpentit) yang mengandung Ni dengan kadar tinggi.

Saat ini, lebih dari 65% nikel digunakan dalam industri baja tahan karat, dan sekitar 12% digunakan dalam industri pembuatan paduan *superalloy* atau paduan *non-ferrous*. Sebanyak 60% kebutuhan nikel secara komersial dipasok dari bijih sulfida. Sekitar 70% cadangan nikel dunia terperangkap dalam bentuk laterit pada lapisan saprolit dan limonit. Saat ini ketersediaan nikel sulfida hanya mengalami penurunan sekitar 30%. Meningkatnya kebutuhan nikel dan menipisnya cadangan bijih sulfida memaksa industri untuk mempertimbangkan cadangan bijih laterit sebagai salah satu sumber utama logam nikel. Nikel laterit tidak diinginkan sebagai sumber utama karena kandungan nikelnya yang relatif rendah, karena membutuhkan pemrosesan yang lebih intensif energi, metode ekstraksi yang canggih, dan terkait dengan emisi gas rumah kaca yang lebih tinggi dibandingkan dengan bijih sulfida (Fu, et al., 2014).

Nikel dikenal sebagai salah satu komoditas tambang yang cukup besar potensinya di Indonesia. Sumber daya nikel di Indonesia sebagian besar berupa bijih

nikel laterit (nikel oksida). Bijih nikel laterit di Indonesia diolah dengan menggunakan peleburan konvensional untuk menghasilkan nikel *matte* dan *ferro* nikel. Proses peleburan konvensional membutuhkan bijih dengan kadar NI yang lebih tinggi (>1,5 %) agar menghasilkan produk NI yang bernilai ekonomis, sehingga bijih kadar rendah yang umumnya berada pada lapisan limonit tidak menguntungkan untuk diolah dan dibuang pada tempat pembuangan (*disposal*). Salah satu metode pengolahan bijih nikel kadar rendah adalah metode hidrometalurgi dengan harapan sumber daya deposit dapat meningkat (Sufriadin, et al., 2020). Namun demikian, pengolahan secara hidrometalurgi sangat sensitif terhadap komposisi mineral dan kimia bijih, dengan mengetahui mineral yang dan komposisi kimia yang terkandung dalam bijih limonit, maka dapat diprediksi opsi pengolahan hidrometalurgi yang cocok untuk mendapatkan hasil ekstraksi yang lebih optimal.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Endapan nikel laterit memiliki kandungan mineral dan komposisi kimia yang kompleks, khususnya pada bijih limonit yang memiliki kadar nikel yang umumnya rendah sehingga perlu dilakukan analisis kandungan mineral dan komposisi kimia dari bijih limonit.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis komposisi mineralogi dari sampel bijih limonit dengan menggunakan metode mikroskopis (mineragrafi) dan *X-Ray Diffraction* (XRD).
2. Menganalisis komposisi kimia sampel bijih limonit dengan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF).
3. Memprediksi implikasi dari komposisi mineral dan kimia bijih limonit terhadap kinerja ekstraksi dengan metode hidrometalurgi.

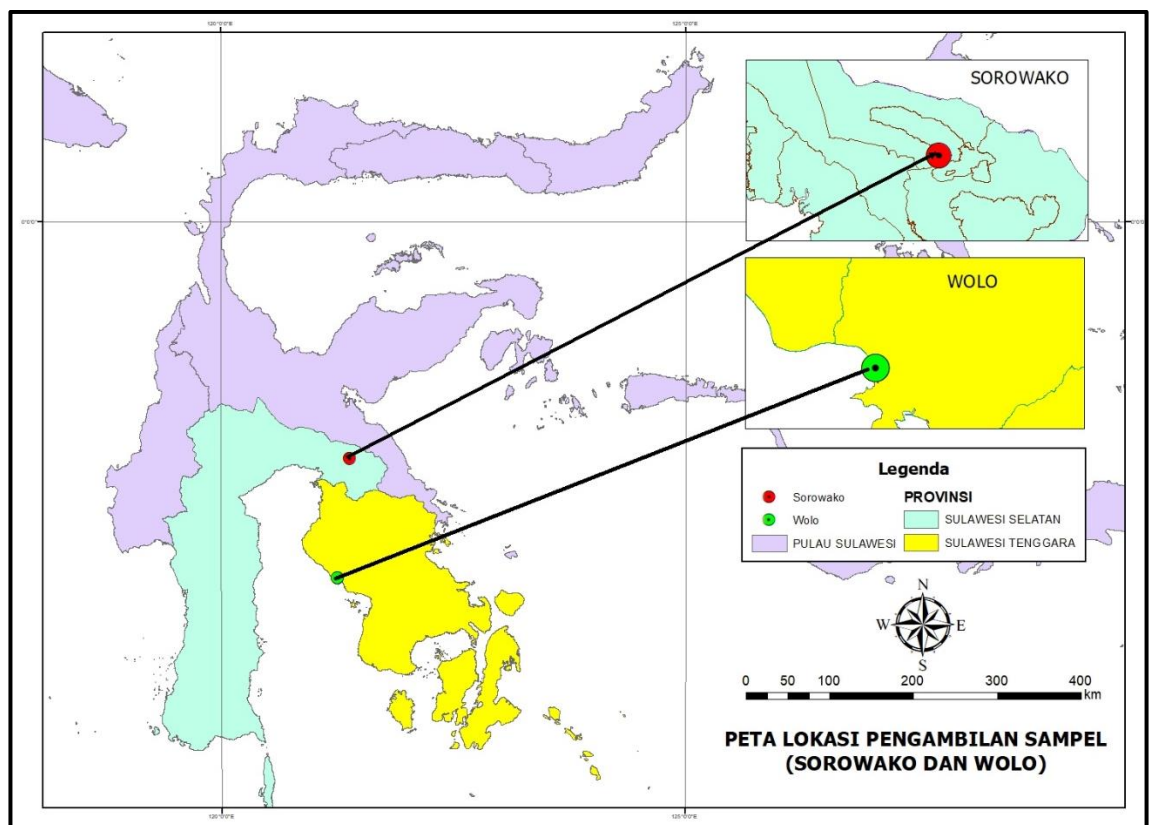


## 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber referensi atau rujukan bagi perusahaan yang ingin mengolah bijih limonit yang memiliki kadar rendah agar dapat memilih metode pengolahan hidrometalurgi yang sesuai dengan kondisi bijih.

## 1.5 Lokasi Penelitian

Terdapat dua lokasi dari sampel yang akan dianalisis yakni WIUP PT. Vale Tbk yang terletak di Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan dan WIUP PT. Ceria Nugraha Indotama yang terletak di Kecamatan Wolo, Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara seperti yang tertera pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Peta Lokasi Pengambilan Sampel.

## 1.6 Tahapan Penelitian

### 1. Tahap Persiapan

#### a. Persiapan

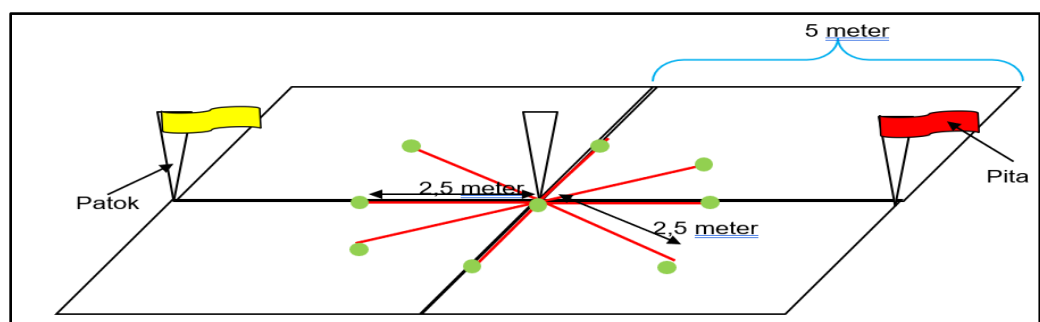
Tahapan ini terdiri dari perumusan masalah yang akan diangkat dalam kegiatan penelitian dan persiapan administrasi yang terkait dalam penelitian, pengumpulan referensi atau literatur mengenai masalah yang diteliti agar dapat menunjang penelitian, serta persiapan bahan-bahan dan alat-alat yang digunakan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

#### b. Studi literatur

Studi literatur dilakukan agar dalam riset ini mempunyai sebuah acuan dalam menjalankannya, serta sebagai dasar dalam melakukan kegiatan. Bahan literatur ini dapat dikumpulkan dari jurnal-jurnal penelitian maupun dari buku-buku yang berkaitan dengan masalah yang akan dijadikan sebagai bahan penelitian seperti kajian mengenai mineralisasi bijih nikel, dan juga metode pengolahan yang dapat dilakukan untuk mengesktrak nikel.

#### c. *Sampling.*

Sampel yang diambil berupa sampel limonit yang diambil dengan menggunakan metode 9 titik dengan jarak pita/patok ke titik utama sebesar 5 meter, dan antara titik utama dengan titik yang lain sebesar 2,5 meter, agar sampel lebih representatif (Gambar 1.2).



Gambar 1.2 Metode pengambilan sampel (Instruksi Kerja PT. Ceria Nugraha Indotama, 2017).

## **2. Tahap Analisis Laboratorium.**

Tahapan ini meliputi preparasi sampel, dimana sampel digerus sampai dengan ukuran yang dibutuhkan (200 *mesh*) yang kemudian akan dilakukan analisis, setiap analisis memerlukan 6 sampel. Terdapat beberapa analisis yang dilakukan yaitu:

- a. Analisis mineralogi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui komposisi mineralogi yang terkandung dalam sampel dan mikroskop guna mengetahui kualitas mineral.
- b. Analisis kimia menggunakan XRF untuk menganalisis komposisi kimia yang terkandung di dalam mineral bijih.
- c. Analisis lain yang dilakukan menggunakan SEM dengan tujuan untuk mengetahui tekstur serta komposisi kimia mineral yang terkandung dalam sampel.

## **3. Pengolahan dan Interpretasi Data.**

Pengolahan data merupakan tahapan mengumpulkan data-data hasil analisis dan mengolah data-data yang telah didapatkan menggunakan Microsoft excel.

## **4. Penyusunan Laporan Tugas Akhir.**

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

## **5. Seminar dan Penyerahan Laporan.**

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

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Geologi Regional.**

##### 2.1.1 Geologi Regional Sorowako

Ada beberapa penelitian yang menjelaskan mengenai proses tektonik dan geologi daerah Sorowako, antara lain adalah Sukamto (1975) yang membagi pulau Sulawesi dan sekitarnya terdiri dari 3 Mandala Geologi yaitu:

1. Mandala Geologi Sulawesi Barat, dicirikan oleh adanya jalur gunung api Paleogen. Intrusi Neogen dan sedimen Mesozoikum.
2. Mandala Geologi Sulawesi Timur, dicirikan oleh batuan Ofiolit yang berupa batuan ultramafik peridotit, harzburgit, dunit, piroksenit dan serpentin yang diperkirakan berumur kapur.
3. Mandala Geologi Banggai Sula, dicirikan oleh batuan dasar berupa batuan metamorf Permo-Karbon, batuan plutonik yang bersifat granitis berumur Trias dan batuan sedimen Mesozoikum.

Menurut Hamilton (1979) dan Simandjuntak (1991), Mandala Geologi banggai Sula merupakan mikro kontinen yang merupakan pecahan dari lempeng New Guinea yang bergerak kearah barat sepanjang sesar sorong. Daerah Sorowako dan sekitarnya menurut (Sukamto,1975 & Simandjuntak, 1986) adalah termasuk dalam Mandala Indonesia bagian Timur yang dicirikan dengan batuan ofiolit dan Malihan yang di beberapa tempat tertindih oleh sedimen Mesozoikum, sedangkan Golightly (1979) mengemukakan bagian Timur Sulawesi tersusun dari 2 zona melange subduksi yang terangkat pada *pre* dan *post-Miocene* (10 juta tahun lalu). Melange yang paling tua tersusun dari sekis yang berorientasi kearah Tenggara dengan disertai beberapa tubuh

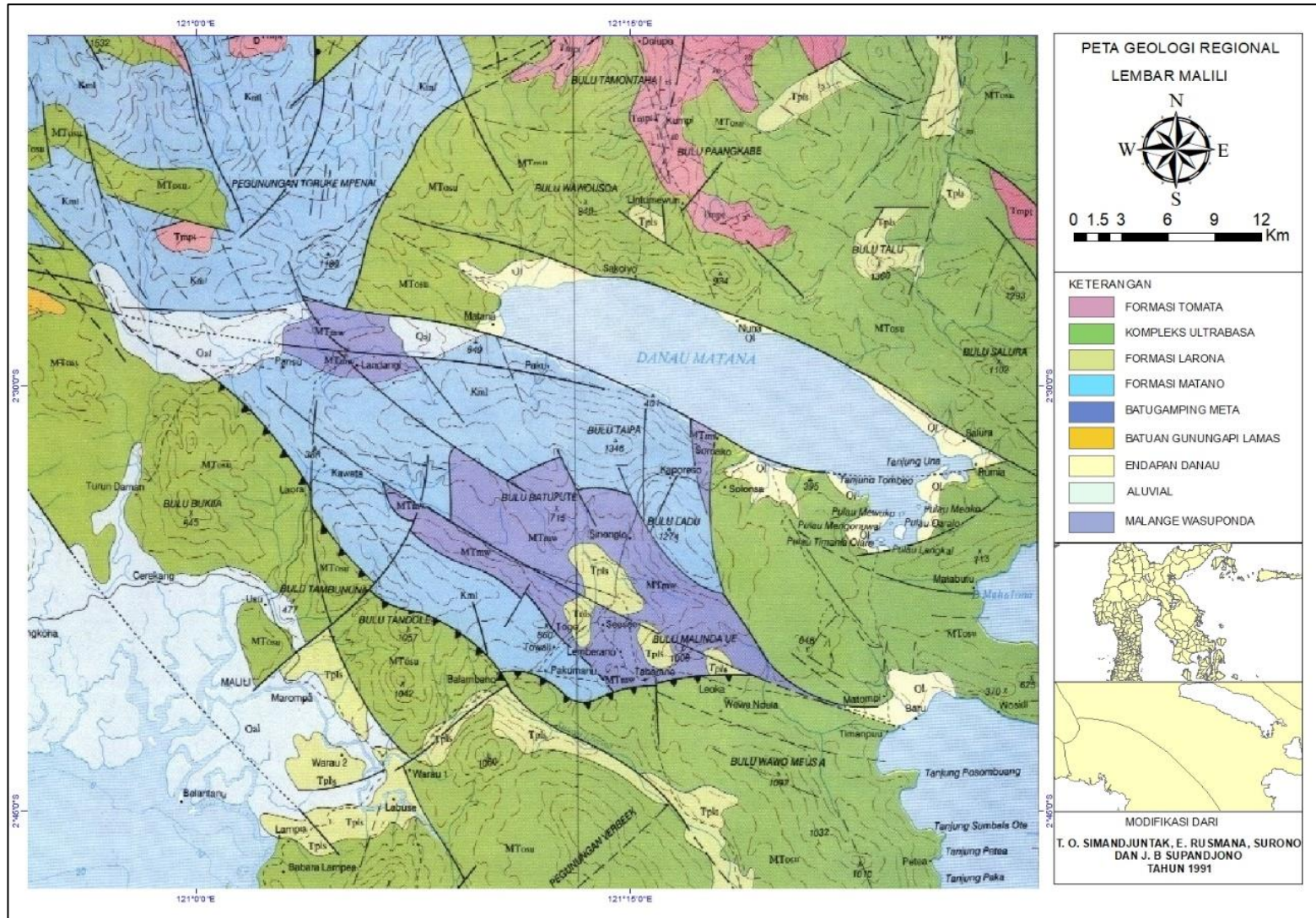
batuan ultrabasa yang penyebarannya sempit dengan stadia geomorfik tua. Sementara yang berumur *post Miocene* telah mengalami pelapukan yang cukup luas sehingga cukup untuk membentuk endapan nikel laterite yang ekonomis, seperti yang ada di daerah Pomala. Melange yang berumur *Miocene – post Miocene* menempati central dan lengan *North-East Sulawesi*. *Uplift* terjadi sangat intensif di daerah ini, diduga karena desakan kerak samudera Banggai Craton.

Kerak benua dengan *density* yang rendah menyebabkan terekspose-nya batuan-batuan laut dalam dari kerak samudera dan mantel. Pada bagian Selatan dari zona melange ini terdapat kompleks batuan ultramafik Sorowako-Bahodopi yang pengangkatannya tidak terlalu intensif. Kompleks ini menempati luas sekitar 11,000 km persegi dengan stadia geomorfik menengah, diselingi oleh blok-blok sesar dari *cretaceous abyssal limestone* dan diselingi oleh *chert*. Peta geologi regional daerah Sorowako dapat dilihat pada Gambar 2.1.

#### 2.1.2 Geologi Lokal Sorowako

Geologi daerah Sorowako secara spesifik dibahas tentang geologi deposit nikel laterit adalah (Golightly, 1979), dan membagi geologi daerah Sorowako menjadi tiga bagian, yaitu (Golightly, 1979) :

1. Satuan batuan sedimen yang berumur kapur, terdiri dari batu gamping laut dalam dan rijang. Terdapat dibagian barat Sorowako dan dibatasi oleh sesar naik dengan kemiringan kearah barat.
2. Satuan batuan ultrabasa yang berumur awal tersier, umumnya terdiri dari jenis peridotit, sebagian mengalami serpentinisasi dengan derajat yang bervariasi dan umumnya terdapat dibagian timur. Pada satuan ini juga terdapat intrusi-intrusi pegmatit yang bersifat gabroik dan terdapat dibagian utara.



Gambar 2.1 Peta Geologi Regional Sorowako, Sulawesi Selatan (Simandjuntak dkk,1991)

3. Satuan alluvial dan sedimen danau (*lacustrine*) yang berumur kuartar, umumnya terdapat dibagian utara dekat desa Sorowako.

Pembentukan bijih nikel laterit di Sorowako merupakan hasil proses pelapukan batuan ultra basa peridotit yang terdapat diatas permukaan batuan bumi. Proses pelapukan terjadi karena pergantian musim panas dan dingin yang silih berganti, sehingga batuan pecah-pecah dan mengalami pelapukan. Ion-ion yang mempunyai berat jenis besar seperti nikel mengalami pengkayaan ditempat, sementara ion-ion yang mempunyai berat jenis kecil mengalami transportasi oleh air, angin atau media lain ke daerah yang lebih rendah. Bijih nikel yang terdapat di bagian Tengah dan Timur Sulawesi tepatnya di daerah Sorowako termasuk ke dalam jenis laterit nikel dan bijih nikel silikat (*garnerit*). Bijih nikel tersebut akibat pelapukan dan pelindian (*leaching*) batuan ultrabasa seperti peridotit dan serpentinit dari rombakan batuan ultrabasa.

Kondisi perlapisan batuan secara umum yang terdapat di lokasi penambangan nikel Sorowako terdiri dari :

1. Lapisan *Overburden*.

Lapisan ini terletak dibagian paling atas, berwarna coklat kemerahan hingga coklat kehitaman. Kadar Ni kurang dari 1.3 %. Ketebalan lapisan rata-rata mencapai 7 meter. Material secara umum dalam ukuran halus (lempung-lanau). Sering dijumpai mineral stabil berupa *chromit*, *magnetit*. Struktur dan tekstur batuan induk tidak dapat dikenali.

2. Limonit berkadar menengah (*Medium Grade Limonit(MGL)*)

Zona dibawah overburden disebut zona MGL, berwarna kuning hingga kecoklatan, agak lunak, berkadar air 30%-40%, kadar Ni berkisar antara 1,4 – 1,5 %, Fe 44% MgO 3%, SiO 2%. Zona MGL ini merupakan zona transisi dari *Overburden* ke *Saprolit* dengan ketebalan sekitar 2 – 10 m.

3. Zona Saprolit.

Merupakan zona bijih (*ore zone*), mengandung banyak fragmen batuan dasar yang teralterasi. Tekstur dan struktur batuan dasar dapat dengan mudah dikenali, berwarna kuning kecoklatan sampai kemerah-merahan. Merupakan zona berkadar Ni tinggi, yaitu rata-rata lebih besar dari 1,8 % dengan ketebalan lapisan antara 2 – 15 m dan dapat dibedakan menjadi 2 *subzone*, yakni:

a. *Subzone softsaprolit*

Terletak dibawah *Limonit*, dengan kandungan fragmen batuan dasar lebih kecil dari 5 cm, sebanyak <25%. Jarang ditemukan fragmen dengan ketebalan ekstrim. Ketebalan antara 1 – 6 m.

b. *Subzone hardsaprolit*

Terletak di bawah *softsaprolit*, dengan kandungan fragmen batuan berukuran lebih besar dari 5 cm, dengan kehadiran lebih dari 25 %. Sering ditemukan fragmen dalam ukuran *boulder* dan pola pelapukan *rim structure* pada bagian terbawah. Ketebalan berkisar antara 2-8 m.

4. *Bedrock (Bluezone/Barren Zone)*

Lapisan ini merupakan batuan peridotit sesar yang tidak atau belum mengalami pelapukan dengan kadar Ni 1,3%. Pada umumnya batuan ini merupakan bongkah-bongkah masif, berwarna kuning pucat sampai abu-abu kehijauan. Secara lokal batuan dasar ini disebut *blue zone*.

Ketebalan dari masing-masing lapisan tidak merata, tergantung dari morfologi dan relief, umumnya endapan laterit terakumulasi banyak pada endapan bawah bukit dengan relief yang landai, sedangkan relief yang terjal endapan makin menipis, disamping adanya kecenderungan akumulasi mineral yang berkadar tinggi dijumpai pada zona-zona retakan, zona sesar dan rekahan pada batuan.



### 2.1.3 Geologi Regional Wolo

Pulau Sulawesi merupakan salah satu pulau yang telah mengalami suatu proses tektonik yang sangat kompleks dalam waktu geologi. Bentuk pulau ini yang menyerupai huruf "K" setidaknya memberikan gambaran bahwa pulau ini mempunyai karakteristik berbeda khususnya kondisi geologi. Bentuk K dari pulau Sulawesi (sebelumnya Celebes) terdiri dari empat semenanjung yang dikenal sebagai "lengan atau *arm*". Lengannya terdiri dari Lengan Selatan, Lengan Utara, Lengan Timur dan Lengan Tenggara.

Sulawesi terletak pada pertemuan 3 Lempeng besar yaitu; Eurasia, Pasifik, dan Indo-Australia serta sejumlah lempeng lebih kecil (Lempeng Filipina) yang menyebabkan kondisi tektoniknya sangat kompleks. Kumpulan batuan dari busur kepulauan, batuan bancuh, ofiolit, dan bongkah dari mikrokontinen terbawa bersama proses penunjaman, tubrukan, serta proses tektonik lainnya (Van Leeuwen, 1994).

Berdasarkan keadaan litotektonik Pulau Sulawesi dibagi 4 yaitu:

1. Mandala barat (*West & North Sulawesi Volcano-Plutonic Arc*) sebagai jalur magmatik (*Cenozoic Volcanics and Plutonic Rocks*) yang merupakan bagian ujung timur Paparan Sunda
2. Mandala tengah (*Central Sulawesi Metamorphic Belt*) berupa batuan malihan yang ditumpangi batuan bancuh sebagai bagian dari blok Australia
3. Mandala timur (*East Sulawesi Ophiolite Belt*) berupa ofiolit yang merupakan segmen dari kerak samudera berimbrikasi dan batuan sedimen berumur Trias-Miosen
4. Banggai-Sula and Tukang Besi *Continental fragments*, kepulauan paling timur Banggai-Sula dan Buton merupakan pecahan benua yang berpindah ke arah barat karena *strike-slip faults* dari New Guinea

Daerah Kolaka termasuk dalam bagian dari Ofiolit Sulawesi Timur (*East Sulawesi Ophiolite/ESO*). Ofiolit Sulawesi Timur (ESO) adalah satu dari tiga ofiolit terbesar di

dunia. Total panjang ESO lebih dari 700 km dari Teluk Gorontalo, melewati Lengan Barat dan Tengah mengarah ke Lengan Tenggara Sulawesi dan pulau Buton serta Kabaena. ESO juga meluas ke Kompleks Lamasi Lengan Selatan melewati Teluk Bone. Total area singakapan lebih dari 15000 km<sup>2</sup> (Kadariusman dkk, 2004).

Deretan litologi ofiolit (ultramafik dan mafik sekuen) hadir disepanjang bagian Utara pesisir Lengan Barat. Pada bagian yang lebih besar dari ESO, sekuen ultramafik mendominasi pada Lengan Tenggara, bagian selatan Lengan Barat, dan Pulau Kabaena. Sedangkan unit vulkanik basaltic muncul di area Lamasi. Batuan ultramafik Sulawesi Tenggara dan Sulawesi Tengah sebagian besar tersusun oleh peridotit yang telah terserpentinisasi dengan berbagai derajat serpentinisasi (Kadariusman dkk, 2004)

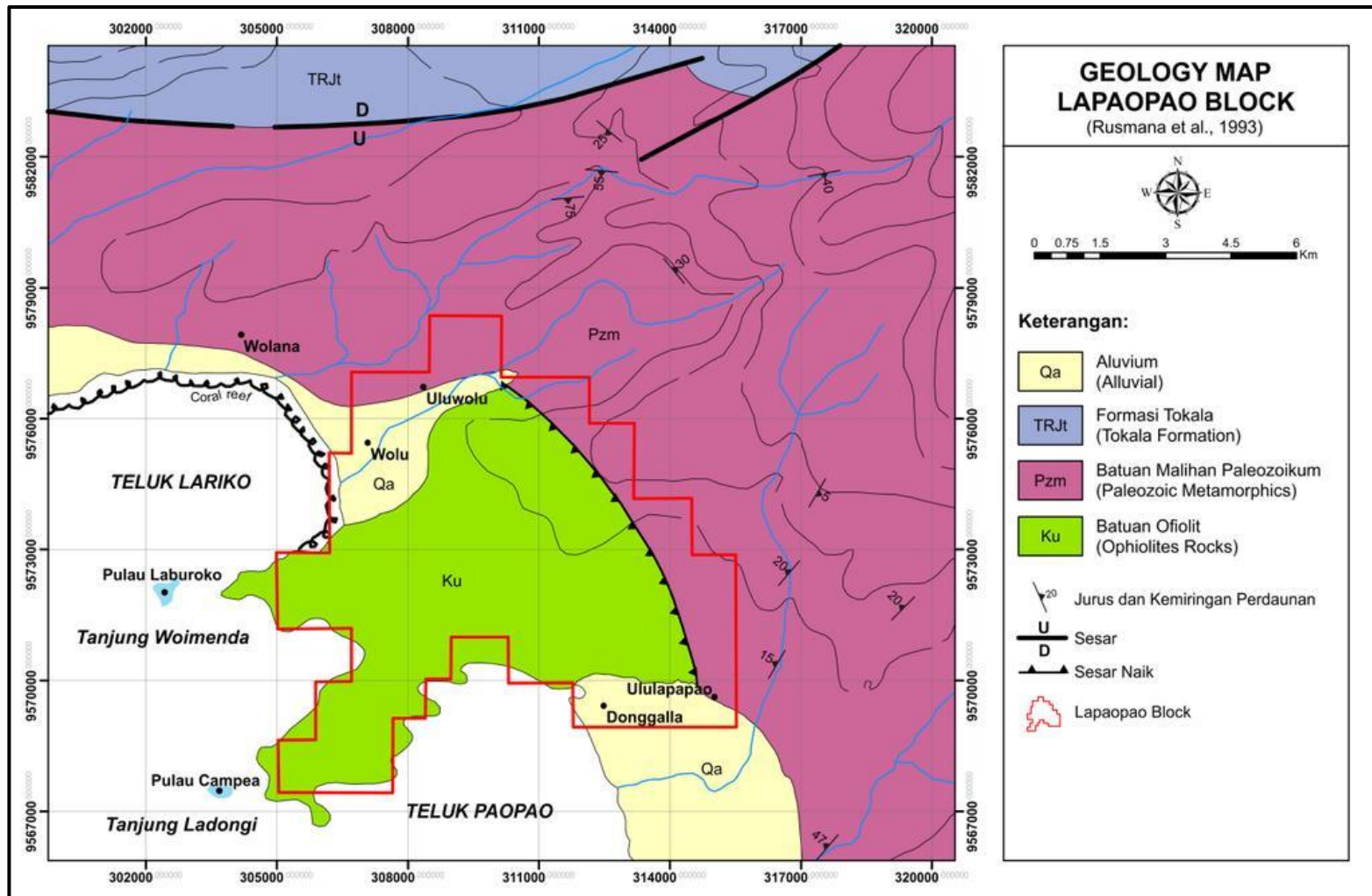
Berdasarkan peta geologi regional lembar Kolaka, Sulawesi Skala 1:250,000 yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung (Simandjuntak dkk, 1993). Formasi yang menyusun sekitar WIUP PT CNI yaitu Kompleks Ultramafik, Kompleks Pompangeo dan Alluvial (Lampiran 2.2).

Berdasarkan laporan geologi regional tersebut serta dari hasil survey tinjau (*reconnaissance*) yang telah dilakukan, maka Geologi Wilayah IUP PT CNI secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut:

Aluvium (Qa): Pasir, kerikil, kerakal, lempung dan lumpur

Kompleks Pompangeo (MTpn): Sekis mika, sekis glokofan, sekis amfibolit, sekis klorit, rijang, sekis genesan, pualam dan batugamping meta,

Kompleks Ultramafik (Ku): Hasrburgit, dunit, wherlit, serpentinit, gabro, basal, dolerite, mafik meta, amfibolit dan setempat rodingit.



Gambar 2.2 Peta Geologi Regional PT.CNI (Rusmana et.al.,1993)

Struktur geologi yang sangat penting pada pulau Sulawesi adalah Sesar Palu Koro yang masih sangat aktif. Sesar ini membentang dari sebelah barat Kota Palu sampai Teluk Bone yang panjangnya kurang lebih 250 km, dengan kecepatan pergerakan transkaren sekitar 2 – 3,5 mm sampai 14-17 mm/tahun (Sudradjat, 1981 dalam Surono dan Hartono, 2013). Selain itu struktur yang berkembang pada lengan Timur dan Tenggara Sulawesi yaitu Sesar Matano, Kelompok Sesar Kolaka, Kelompok Sesar Lawanopo, dan Kelompok Sesar Lainea. Sesar-sesar lainnya terdiri atas Sesar Lemo, Sesar Lameroto, Sesar Mateupe, Sesar Lindu, Sesar Lambatu, dan Sesar Tanjungbasi. Struktur geologi yang berkembang di daerah ini didominasi oleh sesar utama berarah barat laut-tenggara dan menunjukkan gerak mengiri (Surono, 2013).

#### 2.1.4 Geologi Lokal Wolo

##### a. Litologi.

Sebagian besar singkapan. baik anggota batuan malihan (Kompleks Mekongga), Kompleks Ofiolit (ESOB) maupun endapan permukaan dapat diamati dengan baik di tebing-tebing jalan dan pantai di lokasi WIUP. Kompleks batuan malihan terdiri atas sekis muskofit, batugamping malih, dan geneis. dengan luas sebaran 11% (741 Ha) dari luas total wilayah IUP. Kompleks Ofiolit terdiri atas peridotit dan dunit, yang meliputi 60% (4.089 Ha) dari total luas WIUP. Sedangkan Endapan Permukaan terdiri atas sedimen sungai, endapan rawa, dan endapan pantai dengan luas sebaran sekitar 25% (1.732 Ha) dari total luas WIUP. Berdasarkan laporan internal PT INCO tahun 2006. area proyek disusun oleh batuan ultramafik, batuan metamorf dan endapan permukaan.

Batuan ultramafik terdiri dari peridotit dan dunit yang mencakup 61% (4124 ha) dari total area. Batuan metamorf terdiri dari sekis muscovite, metalimestone, dan geneis. Cakupan batuan metamorfik hampir 12% (774 ha). Endapan permukaan terdiri dari sedimen sungai. endapan rawa dan endapan pantai. Total cakupan endapan permukaan adalah 26% (1.777 ha).

Peridotit umumnya berwarna hijau tua hingga hijau keabu-abuan, tekstur faneritik, berbutir sedang-kasar, terdiri dari piroksen dan olivin. Mineral opak hadir sangat kecil mungkin berupa magnetit terkandung di dalamnya. Olivin berwarna hijau kekuningan, granular, butiran kristal halus-kasar, komposisi mineral paling dominan. Piroksen berwarna hijau keabu-abuan, granular, butiran halus-kasar, cukup melimpah. Oksidasi hadir dengan berbagai tingkatan yang dikendalikan oleh intensitas retakan. Tingkat material penghapus dan kontak batuan permukaan dengan udara terbuka atau air tanah. Peridotit menjadi batuan dasar utama pada sebagian besar area prospek.

b. Struktur Geologi.

Analisis Arah struktur geologi telah dikumpulkan dari peta geologi regional dan observasi lapangan. Peridotit terdorong naik dan kontak dengan batuan metamorf. Zona kontak diindikasikan oleh batuan metamorfik berubah hingga lebih banyak *clay*, berwarna gelap dengan butiran silika. Tidak ada kontak yang jelas antar batuan karena secara ekstensif tertutup oleh endapan permukaan. Kelurusan struktur juga terdeteksi dari Citra Satelit Arah dominan. yaitu baratlaut-tenggara dan timurlaut-baratdaya. Topografi curam, blok patahan batuan, tanah longsor, breksiasi peridotit atau silika dan intensitas fraktur yang tinggi umumnya ditemukan di zona kelurusan.

c. Mineralisasi.

Pengamatan Lapangan mineralisasi nikel laterit telah diamati di daerah proyek. Mineralisasi ditandai dengan hadirnya tanah laterit sebagai produk pelapukan batuan ultramafik di atas area tersebut. Tanah lapukan ultramafik dikenal sebagai "limonit" yang berada di atas profil laterit. Profil limonit berwarna merah hingga coklat kemerahan didominasi oleh mineral lempung-goetit-hematit dan pada zona transisi silika yang ditemukan sebagai lapisan tipis atau *box work*. Ketebalannya bervariasi dari 2–3 m. *Iron cap* berkembang dengan baik di perbukitan bergelombang. Itu terjadi di bagian tengah "lengan kanan" area prospek. *Iron cap* terdistribusi secara luas dalam berbagai ukuran.

Ukuran batu *silicrete* (silika-besi) biasanya ditemukan di punggung sempit yang berasosiasi dengan harzburgit segar. Saprolit kadang ditemukan sebagai *rocky* saprolit atau *hand* saprolite, berwarna hijau kekuningan hingga hijau kecoklatan terdiri dari serpentin-goetit/hematit-silika.

Tipe mineralisasi yaitu tipe bijih (*ore type*) "peridotit serpentinisasi rendah". Intensitas rekahan yang tinggi menghasilkan blok batuan dengan diameter hingga 50-70 cm. Serpentin yang resisten ditemukan sebagai jejak pola kekar atau jalur vein di dalam saprolit atau di sekitar lapukan blok peridotit (saprolit keras).

Saprolit keras dicirikan dengan warna kuning cerah yang merupakan lapukan olivin. Piroksen yang resisten membentuk bongkahan. Umumnya, saprolit keras hadir sebagai pinggiran luar lapukan *bedrock* atau *boulder*. Ketebalannya dapat bervariasi dari beberapa sentimeter hingga meter.

Di beberapa bagian daerah tersebut terdapat potensi akumulasi bijih yang terakumulasi di dataran rendah sebagai *talus cone* deposit meskipun tidak ada data auger sebelumnya yang cukup. Batuan dasar (*bedrock*) tersebar di bagian paling bawah dari profil laterit. Bongkahan boulder kadang ditemukan di lapisan saprolit atau limonit. Garnierit hadir dalam berbagai jumlah di bagian atas (saprolit paling dasar) dari lapisan *bedrock* yang umumnya berasosiasi dengan silika. Umumnya mineralisasi tidak berkembang karena kurangnya kontak dengan faktor pelapukan (udara terbuka, air tanah, atau aliran permukaan). Kekar dan rekahan umumnya tertutup dengan oksidasi yang sangat kecil.

## **2.2 Pembentukan Nikel Laterit**

Nikel adalah salah satu logam dasar terpenting untuk infrastruktur modern. Lebih dari 60 persen produksi nikel dunia (berbasis logam nikel) digunakan untuk pembuatan baja tahan karat. Ada dua jenis sumber daya utama untuk penambangan nikel yaitu,

bijih sulfida dan laterit (oksida). Lebih dari 70 persen sumber daya nikel dunia di darat ditemukan dalam bijih laterit. Endapan bijih nikel laterit terbentuk oleh pelapukan batuan ultrabasa di daerah tropis hingga subtropis. Fasies batuan stratigrafi endapan nikel laterit biasanya berlapis ke atas dengan urutan peridotit, serpentinit, saprolit, batuan transisi, limonit, ferikrit. Fasies batuan ini juga secara bertahap berubah dalam kumpulan mineral dan komposisi kimia. Nikel diekstraksi dari bijih yang ditambang dari lapisan saprolit hingga limonit (Ribeiro, et al., 2019).

Laterit merupakan salah satu produk yang dihasilkan dari proses pelapukan secara kimiawi dan berlangsung dalam waktu yang lama. Laterit terbentuk melalui proses pemecahan mineral utama 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 bersifat asam, hangat, dan lembab akan melarut. 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).

Deposit dari nikel laterit pada dasarnya merupakan campuran heterogen antara *hydrated iron oxides* dan *hydrous magnesium silicate*, yang mengandung sejumlah nikel dan kobal dalam konsentrasi yang rendah. Deposit ini terbentuk sebagai akibat dari pembasahan (*weathering*) batuan basa seperti peridotit dan serpentin. Mineral utama penyusun batu peridotit adalah olivin ( $(\text{Fe,Mg})_2\text{SiO}_4$ ) yang mengandung nikel hingga 0,3%. Batuan peridotit berubah menjadi serpentin yang merupakan *hydrated magnesium silikat* akibat tereksposnya peridotit oleh cuaca. Olivin dan serpentin terdekomposisi oleh air tanah yang mengandung karbondioksida membentuk magnesium, besi, nikel dan silikon yang dapat larut. Kemudian besi dengan cepat teroksidasi akibat kontak dengan udara dan mengendap oleh proses hidrolisis dalam bentuk goethit dan hematit. Nikel, magnesium dan silikon yang terurai kemudian turun

ke bawah pada profil laterit dan tetap berada dalam larutan selama larutan tersebut masih bersifat asam. Ketika larutan tersebut dinetralkan oleh reaksi dengan batu dan tanah, nikel silika dan beberapa magnesium mengendap sebagai *hydrates silicates*. Pada mineral *feric oxide* pemisahan sempurna antara besi dan nikel kedalam area yang berbeda tidak pernah tercapai, beberapa atau bahkan sebagian besar nikel mungkin tetap berada dalam lapisan atas tanah, sehingga pada bagian ini mengandung nikel yang kaya akan besi namun mengandung magnesium dan silikon dengan kadar yang rendah, sedangkan pada mineral silikat pemisahan antara nikel dan besi lebih sempurna, dan nikel muncul dalam bentuk mineral silikat yang kaya akan kandungan magnesium. Kedua jenis material ini dapat ditemukan dalam deposit laterit (Zhang et. al, 2019).

Bijih nikel laterit terbagi dalam 3 jenis mineral. Mineral pertama dalam deposit bijih laterit adalah nikelferous-limonit  $(\text{Fe,Ni})\text{O}(\text{OH})\cdot n\text{H}_2\text{O}$  yang mengandung 0,8- 1,5% nikel yang terasosiasi dengan mineral goetit (besi oksihidroksil  $\text{FeOOH}$ ). Limonit terletak pada daerah dekat dengan permukaan. Kedua adalah garnierit  $(\text{Ni, Mg})_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$  dapat ditemukan pada bagian paling bawah atau tepat diatas lapisan batuan dasar (*bedrock*), garnierit memiliki rumus kimia  $(\text{Ni,Mg})_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ . Sedangkan yang ketiga adalah daerah antara limonit dan garnierit disebut daerah transisi atau saprolit, mineral ini terdiri dari beberapa magnesium silikat. Pada profil lapisan deposit tersebut dengan semakin meningkatnya kedalaman maka kandungan besi dan kobalt akan semakin berkurang sedangkan kandungan magnesium, silika dan nikel akan semakin meningkat.

#### 2.2.1. Genesis Pembentukan Nikel Laterit.

Menurut (Evans, 1993) laterit merupakan residu atau produk sisa dari pelapukan kimia batuan di permukaan bumi, di mana berbagai mineral asli atau primer mengalami ketidakstabilan karena adanya air, kemudian larut atau pecah dan membentuk mineral baru yang lebih stabil. Laterit penting sebagai batuan induk untuk endapan bijih ekonomi

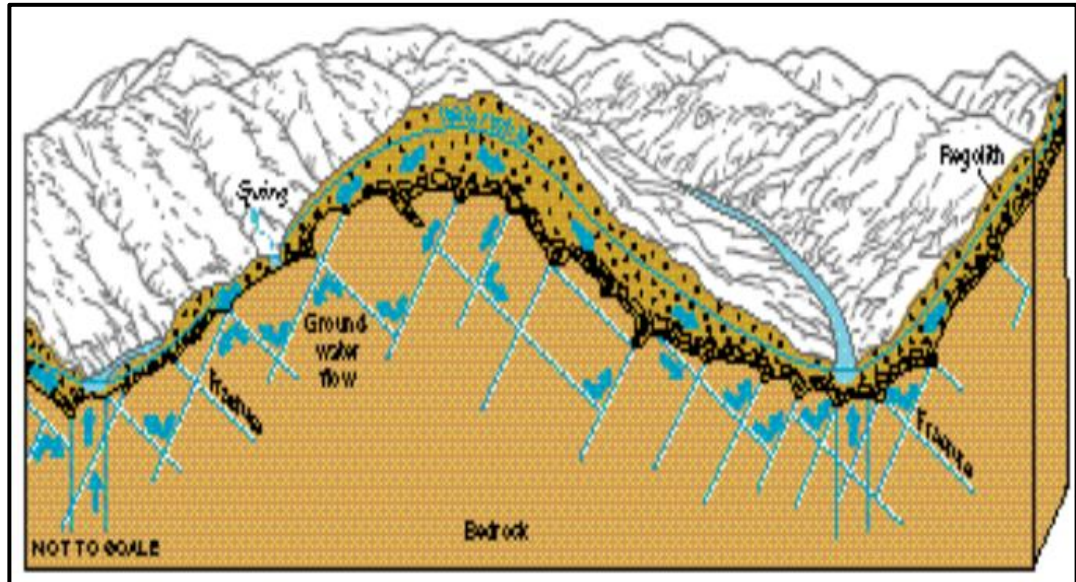


Proses pembentukan nikel laterit diawali dari proses pelapukan batuan ultrabasa, dalam hal ini adalah batuan harzburgit. Batuan ini banyak mengandung olivin, piroksen, magnesium silikat dan besi, mineral-mineral tersebut tidak stabil dan mudah mengalami proses pelapukan (Boldt, 1967).

Faktor kedua sebagai media transportasi Ni yang terpenting adalah air. Air tanah yang kaya akan CO<sub>2</sub>, unsur ini berasal dari udara luar dan tumbuhan, akan mengurai mineral-mineral yang terkandung dalam batuan harzburgit tersebut. Kandungan olivin, piroksen, magnesium silikat, besi, nikel dan silika akan terurai dan membentuk suatu larutan, di dalam larutan yang telah terbentuk tersebut, besi akan bersenyawa dengan oksida dan mengendap sebagai ferri hidroksida.

Endapan ferri hidroksida ini akan menjadi reaktif terhadap air, sehingga kandungan air pada endapan tersebut akan mengubah ferri hidroksida menjadi mineral-mineral seperti goetit (FeO(OH)), hematit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan cobalt. Mineral-mineral tersebut sering dikenal sebagai besi karat.

Endapan ini akan terakumulasi dekat dengan permukaan tanah, sedangkan magnesium, nikel dan silika 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 leaching. Unsur Ni sendiri merupakan unsur tambahan di dalam batuan ultrabasa. Sebelum proses pelindihan berlangsung, unsur Ni berada dalam ikatan grup serpentin. Rumus kimia dari kelompok serpentin adalah X<sub>2-3</sub>SiO<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>, dengan X tersebut tergantikan unsur-unsur seperti Cr, Mg, Fe, Ni, Al, Zn atau Mn atau dapat juga merupakan kombinasinya. Adanya suplai air dan saluran untuk turunnya air, dalam hal berupa kekar (Gambar 2.3), maka Ni yang terbawa oleh air turun ke bawah, lambat laun akan terkumpul di zona air sudah tidak dapat turun lagi dan tidak dapat menembus bedrock (Harzburgit) (Golightly, 1981).



Gambar 2.3 Pembentukan Nikel Laterit pada Kekar (Noor,2017).

Ikatan dari Ni yang berasosiasi dengan Mg, SiO dan H akan membentuk mineral garnierite dengan rumus kimia  $(Ni,Mg)Si_4O_5(OH)_4$ . Apabila proses ini berlangsung terus menerus, maka yang akan terjadi adalah proses pengkayaan supergen (*supergen enrichment*). Zona pengkayaan supergen ini terbentuk di zona saprolit. Dalam satu penampang vertikal profil laterit dapat juga terbentuk zona pengkayaan yang lebih dari satu, hal tersebut dapat terjadi karena muka air tanah yang selalu berubah-ubah, terutama dari perubahan musim. Dibawah zona pengkayaan supergen terdapat zona mineralisasi primer yang tidak terpengaruh oleh proses oksidasi maupun pelindihan, yang sering disebut sebagai zona Hipogen, terdapat sebagai batuan induk yaitu batuan Harzburgit.

#### 2.2.2. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pembentukan Nikel Laterit.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan bijih laterit nikel ini adalah sebagai berikut (Ahmad, 2006):

##### a. Batuan asal.

Adanya batuan asal merupakan syarat utama untuk terbentuknya endapan nikel laterit, macam batuan asalnya adalah batuan ultra basa. Dalam hal ini pada batuan

ultra basa tersebut terdapat elemen Ni yang paling banyak diantara batuan lainnya mempunyai mineral-mineral yang paling mudah lapuk atau tidak stabil, seperti olivine dan piroksin mempunyai komponen-komponen yang mudah larut dan memberikan lingkungan pengendapan yang baik untuk nikel.

b. Iklim.

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

c. Reagen-reagen kimia dan vegetasi.

Reagen-reagen kimia adalah unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang membantu mempercepat proses pelapukan. Air tanah yang mengandung CO<sub>2</sub> memegang peranan penting didalam proses pelapukan kimia. Asam-asam humus menyebabkan dekomposisi batuan dan dapat merubah pH larutan. Asam-asam humus ini erat kaitannya dengan vegetasi daerah. Dalam hal ini, vegetasi akan mengakibatkan penetrasi air dapat lebih dalam dan lebih mudah dengan mengikuti jalur akar pohon-pohonan, akumulasi air hujan akan lebih banyak, dan humus akan lebih tebal. Keadaan ini merupakan suatu petunjuk, dimana hutannya lebat pada lingkungan yang baik akan terdapat endapan nikel yang lebih tebal dengan kadar yang lebih tinggi. Selain itu, vegetasi dapat berfungsi untuk menjaga hasil pelapukan terhadap erosi mekanis.

d. Struktur.

Struktur yang sangat dominan yang terdapat didaerah penelitian adalah struktur kekar (*joint*) dibandingkan terhadap struktur patahannya. Seperti diketahui, batuan beku mempunyai porositas dan permeabilitas yang kecil sekali sehingga penetrasi air

sangat sulit, maka dengan adanya rekahan-rekahan tersebut akan lebih memudahkan masuknya air dan berarti proses pelapukan akan lebih intensif.

e. Topografi.

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

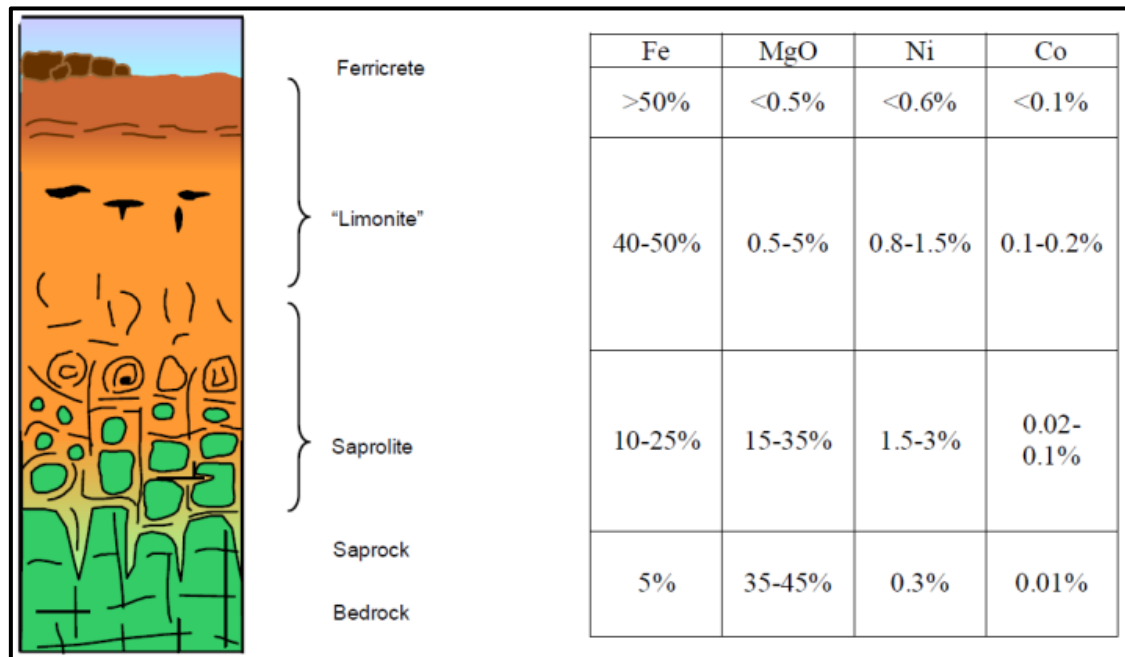
f. Waktu.

Waktu yang cukup lama akan mengakibatkan pelapukan yang cukup intensif karena akumulasi unsur nikel cukup tinggi.

### **2.3 Zonasi Profil Endapan Nikel Laterit**

Nikel laterit adalah produk sisa atau residu dari proses pelapukan kimia pada batuan ultramafik. Proses lateritisasi terjadi selama jutaan tahun dimulai ketika batuan ultramafik tersingkap di permukaan bumi sampai menghasilkan berupa residu nikel yang diakibatkan oleh beberapa faktor seperti laju pelapukan, struktur geologi, iklim, topografi, reagen-reagen kimia dan vegetasi, dan waktu. Pengaruh iklim tropis di Indonesia mengakibatkan proses pelapukan yang intensif di dukung oleh pecahan bentukan geologi *methamorphic belt* di Timur dan Tenggara. Selain itu kondisi ini juga tidak terlepas oleh iklim, reaksi kimia, struktur, dan topografi Sulawesi yang cocok terhadap pembentukan nikel laterit. Pelapukan pada batuan dunit dan peridotit

menyebabkan unsur-unsur bermobilitas rendah sampai immobile seperti Ni, Fe dan Cr mengalami pengayaan secara residu dan sekunder (Burger, 1996).



Gambar 2.4 Profil Endapan Nikel Laterit Berdasarkan Zona Pembentukannya (Noor, 2017).

Berdasarkan proses pembentukannya endapan nikel laterit terbagi menjadi beberapa zona dengan ketebalan dan kadar yang bervariasi (Gambar 2.4). Daerah yang mempunyai intensitas pengkekarannya yang intensif akan mempunyai profil lebih tebal dibandingkan dengan yang pengkekarannya kurang begitu intensif. Batuan ultramafik yang berada di wilayah bercurah hujan tinggi, bersuhu hangat, topografi yang landai, banyak vegetasi, akan mengalami pelapukan membentuk endapan laterit nikel (Noor, 2017). Profil Nikel laterit pada umumnya adalah terdiri dari 4 zona gradasi sebagai berikut (Ahmad, 2006):

1. Tanah Penutup atau *top soil*, Merupakan tanah sisa hasil pelapukan yang berwarna merah tua dan merupakan hasil oksidasi yang terdiri dari hematit, goetit serta limonit. Memiliki kadar besi yang sangat tinggi dan kandungan unsur Ni yang sangat rendah.

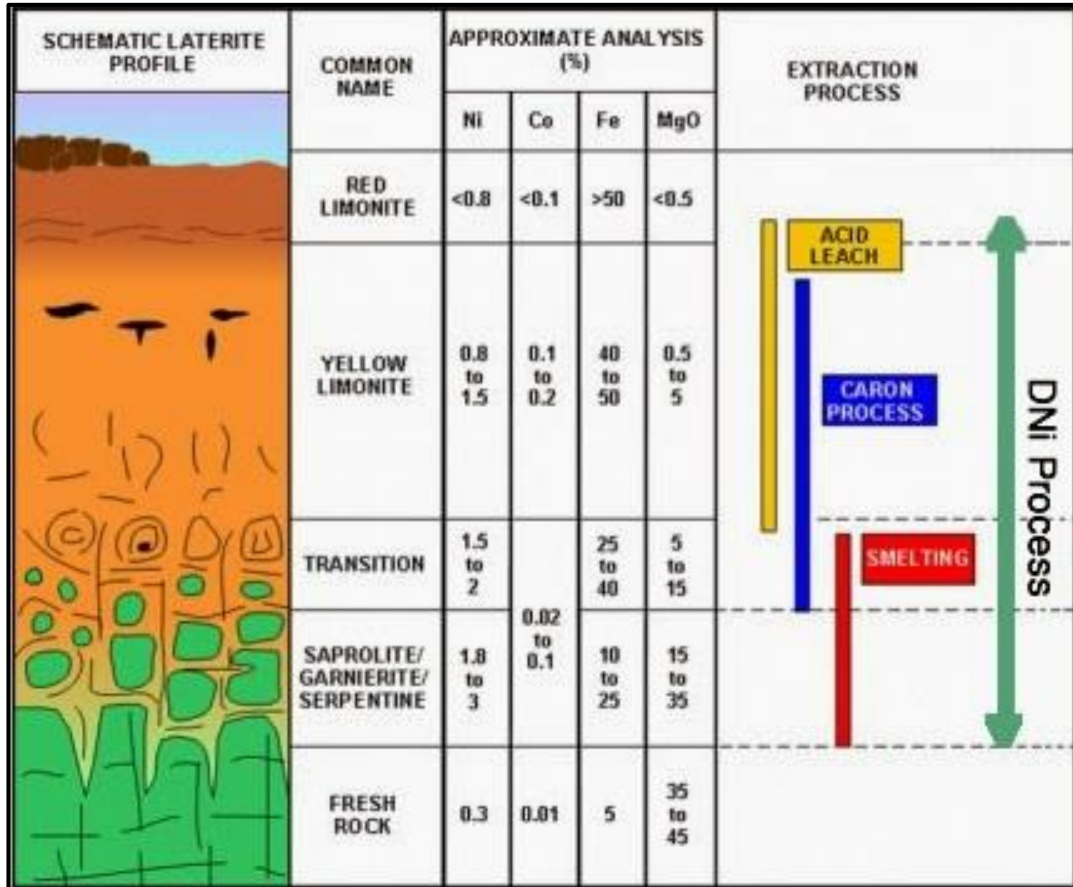
2. Zona Limonit berwarna merah coklat atau kuning, berukuran butir halus hingga lempungan, lapisan kaya besi dari limonit soil yang menyelimuti seluruh area. Terletak di atas profil laterit, Zona limonit terbagi beberapa tingkat, bagian paling atas dari zona terkena efek oksidasi dari udara dan membawa beberapa hematit.
3. Zona lapisan antara atau *Silica Boxwork*, zona ini jarang terdapat pada batuan dasar (*bedrock*) yang mengalami serpentinisasi. Memiliki warna putih, orange *chert*, *quartz*, mengisi sepanjang rekahan dan sebagian menggantikan zona terluar dari unserpentine fragmen peridotit, sebagian mengawetkan struktur dan tekstur dari batuan asal. Terkadang terdapat mineral opal, magnesit. Akumulasi dari garnierit-pimelit di dalam *boxwork* mungkin berasal dari bijih nikel yang kaya akan silika.
4. Zona Saprolit, merupakan campuran dari sisa – sisa batuan, bersifat pasiran, *saprolitic rims*, *vein* dari garnierite, *nickeliferous quartz*, mangan dan pada beberapa kasus terdapat silika *bozwork*, bentukan dari suatu zona transisi dari limonit ke *bedrock*. Terkadang terdapat mineral *quartz* yang mengisi rekahan, mineral primer yang terlapukan, chlorit. Garnierite dilapangan biasanya diidentifikasi sebagai *colloidal talk* dengan lebih atau kurang *nickeliferous serpentine*. Struktur dan tekstur batuan asal masih terlihat. Terletak di atas batuan dasar, zona saprolit terdiri dari batu-batu yang sebagian telah benar-benar terurai di bawah pengaruh pelapukan tropis. Proses pelapukan mulai sepanjang permukaan lipatan dan rekah mengakibatkan pembentukan bongkah atau *boluder* dalam zona saprolit. Dalam batuan dasar yang relatif sangat terserpentinisasi, batas zona saprolit tidak terbatas hanya untuk rekahan dan lipatan saja, tetapi secara aktif berlanjut ke seluruh massa batuan yang memungkinkan terjadinya akses air tanah.

5. Batuan dasar (*bedrock*), tersusun atas bongkahan atau blok dari batuan induk yang secara umum sudah tidak mengandung mineral ekonomis (kadarnya sudah mendekati atau sama dengan batuan dasar). Bagian ini merupakan bagian terbawah dari profil laterit.

## **2.4 Pengolahan Bijih Nikel Laterit**

Kandungan nikel laterit Indonesia sekitar 1,45%, sehingga proses pirometalurgi konvensional tidak efektif. Pemanfaatan bijih nikel kadar rendah sebagai bahan baku pembuatan feronikel dengan kandungan konsentrat >4% Ni dan perolehan logam nikel tinggi belum berhasil. Kurangnya keberhasilan tersebut disebabkan oleh belum optimalnya metode dan perlakuan selama proses reduksi selektif, sehingga perlu dikaji metode yang tepat dalam mengolah bijih nikel kadar rendah menjadi konsentrat feronikel.

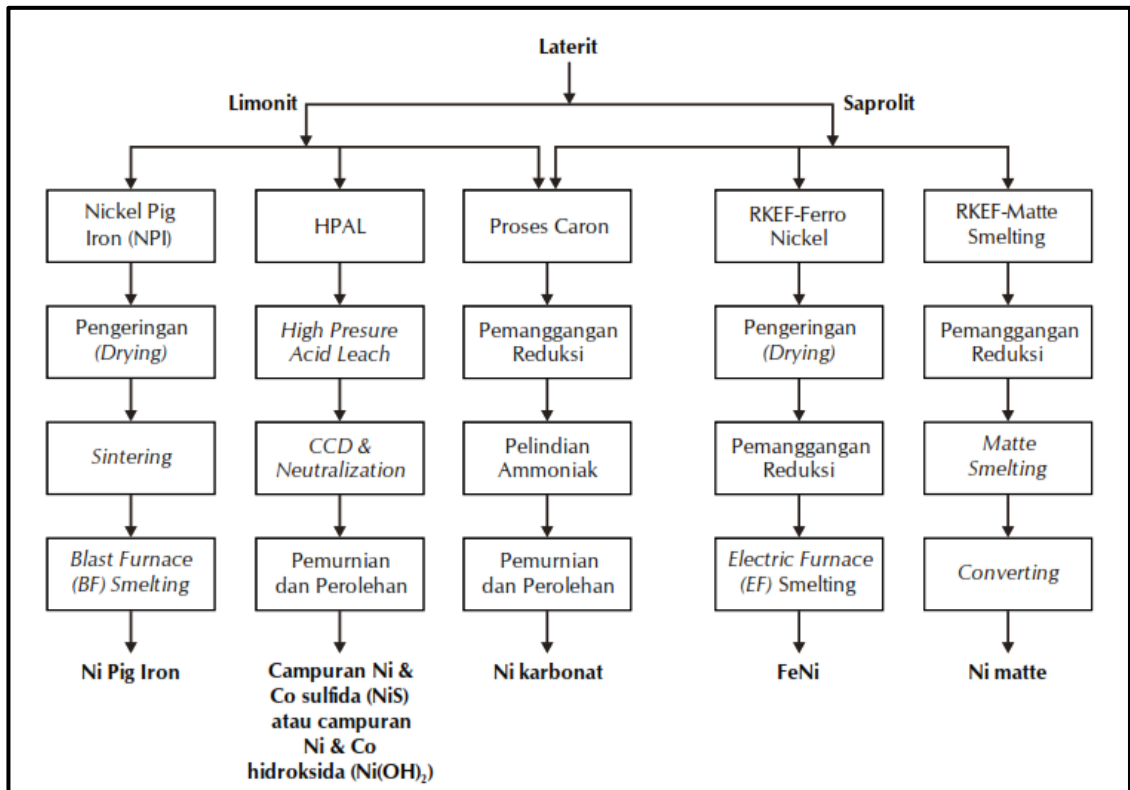
Profil nikel laterit memiliki empat zona dengan ciri khas yang berbeda setiap lapisan zonanya (Kyle, 2010). Metode pengolahan yang dibutuhkan disesuaikan dengan zona dan berbagai komposisi kimia dan mineralogi dari profil laterit seperti yang terlihat pada Gambar 2.5 Efek pelapukan semakin meningkat dari bawah ke atas dengan kandungan magnesium dari bijih menurun dan kandungan besi meningkat dengan meningkatnya pelapukan (Elias, 1981; Burger, 1996).



Gambar 2.5 Profil Nikel Laterit Dengan Metode Pengolahannya (Butt, 2007).

Pengolahan laterit nikel terbagi menjadi dua metode yaitu *pyrometallurgy* dan *hydrometallurgy*. Metode *pyrometallurgy* (peleburan) adalah proses tertua dan paling banyak digunakan dan digunakan untuk memproduksi *ferronikel* atau *nikel matte*. Metode *Hydrometallurgy* merupakan proses ekstraksi logam yang dilakukan pada suhu yang relatif rendah dengan cara pelindian menggunakan larutan kimia, dalam metode *hydrometallurgy*, dua metode utama yang saat ini sering dilakukan adalah metode Caron dan metode pelindian asam tekanan tinggi (*High Pressure Acid Leaching*), selain itu terdapat beberapa metode pelindian (*leaching*) yang memerlukan biaya yang lebih kecil seperti pelindian tekanan atmosfer (*Atmospheric Leaching*) dan pelindian tumpukan (*Heap Leaching*) (Kyle, 2010). Untuk gambaran lebih detail dapat dilihat pada Gambar 2.6 tentang skema pengolahan nikel laterit dengan beberapa metode.





Gambar 2.6 Diagram Alir Pengolahan Nikel Laterit (Rodrigues, 2013).

#### 2.4.1 Pengolahan Metode Pirometalurgi.

Metode pirometalurgi dalam ekstraksi bijih nikel laterit terdiri dari rotary kiln-reduksi tungku busur listrik dan menghasilkan nickel matte dan feronikel dalam peleburan reduksi (Warner, et al., 2006). Metode pirometalurgi sebagian besar cocok untuk laterit saprolitik dan laterit garnierit dengan kandungan nikel tinggi (Chen, et al., 2015).

Produksi feronikel dari bijih laterit memerlukan energi tinggi, karena bijih laterit atau bijih pra-reduksi umumnya langsung dilebur untuk menghasilkan sejumlah kecil produk feronikel dan sejumlah besar *slag*. Tidak seperti bijih nikel sulfida, bijih nikel laterit tidak dapat di upgrade dengan penghalusan (*grinding*) dan metode lain yang bersifat benefisiari secara fisik. Karenanya hampir semua proses pengolahan nikel laterit menggunakan proses pirometalurgi terhadap kandungan nikel yang diatas 1,5%. Padahal lebih dari 50% cadangan dunia mempunyai kandungan Ni<1.45%. sehingga

kurang menguntungkan bila diolah dengan proses pirometalurgi yang umum. Proses pirometalurgi bijih laterit secara komersial saat ini secara garis besar terdiri atas (Setiawan, 2016):

a. *Rotary kiln electric furnace* (RKEF)

Proses RKEF sering digunakan untuk memproduksi *ferronikel* dan *nikel matte*. Proses diawali dengan melakukan reduksi air pada bijih nikel hingga 45% melalui proses *pre-treatment*. Pada proses tersebut, bijih laterit dikeringkan dengan *rotary dryer* pada temperatur 250°C hingga kandungan air didalamnya mencapai 15-20%. Produk dari *rotary dryer* selanjutnya masuk ke tahap kalsinasi (prereduksi) menggunakan *rotary kiln* pada suhu 800-900°C. Reaksi yang berlangsung di *rotary kiln*, yaitu evaporasi dari air, disosiasi dari mineral-mineral pada temperatur 700°C menjadi oksida-oksida dan uap air, reduksi dari nikel oksida dan besi oksida gas reduktor pada temperatur sekitar 800°C. Hasil proses kalsinasi kemudian dilebur di dalam *electric furnace* pada temperatur 1500-1600°C menghasilkan feronikel. Pada *electric furnace* terjadi pemisahan feronikel dari terak silika-magnesia. Proses ini yang paling umum digunakan dalam industri pirometalurgi nikel saat ini karena tahapan proses dianggap lebih sederhana dan dapat diaplikasikan terhadap bijih dari berbagai lokasi. Kekurangan dari metode ini adalah konsumsi energi sangat tinggi dan hanya lebih rendah dari proses Caron.

b. *Nippon Yakin Oheyama Process*

*Nippon Yakin Oheyama Process* merupakan proses reduksi secara langsung dari garnierite ore untuk memproduksi *ferronikel* dalam *rotary kiln*. *Silicate ore* (2,3-2,6%Ni, 12-15%Fe) bersama antrasit, *coke breeze*, dan batu kapur dicampur dan dibuat menjadi briket. Briket tersebut kemudian diumpankan ke dalam *rotary kiln* yang menggunakan pembakaran batu-bara dengan

gradien temperatur 700-1300°C. Dalam *rotary kiln* tersebut, briket akan mengalami proses pengeringan, dehidratasi, reduksi, dan dilebur membentuk *ferronikel* yang disebut *luppen*. Hasil proses tersebut kemudian didinginkan cepat dalam air (*quenching*), dan *luppen* yang berukuran 2-3 mm dengan grade 22% Ni dan 0,45% Co dipisahkan dari teraknya melalui proses *grinding, screening, jigging, dan magnetic separation*. *Recovery* awal melalui proses ini hanya berkisar 80% diakibatkan tingginya kandungan pengotor dalam bijih yang sulit dipisahkan dengan *rotary kiln*. Energi yang diperlukan relatif rendah dibandingkan dengan pembuatan feronikel menggunakan proses lain karena tidak dibutuhkan energi yang tinggi pada proses pemisahan *ferronikel* dari pengotornya. Salah satu masalah dari proses ini yaitu masalah kontrol kadar air briket yang perlu dilakukan sangat ketat karena dapat menentukan reduksibilitas dan penggunaan antrasit yang relatif mahal dan kemungkinan ketersediannya semakin menurun.

c. *Nickel Pig Iron* (NPI)

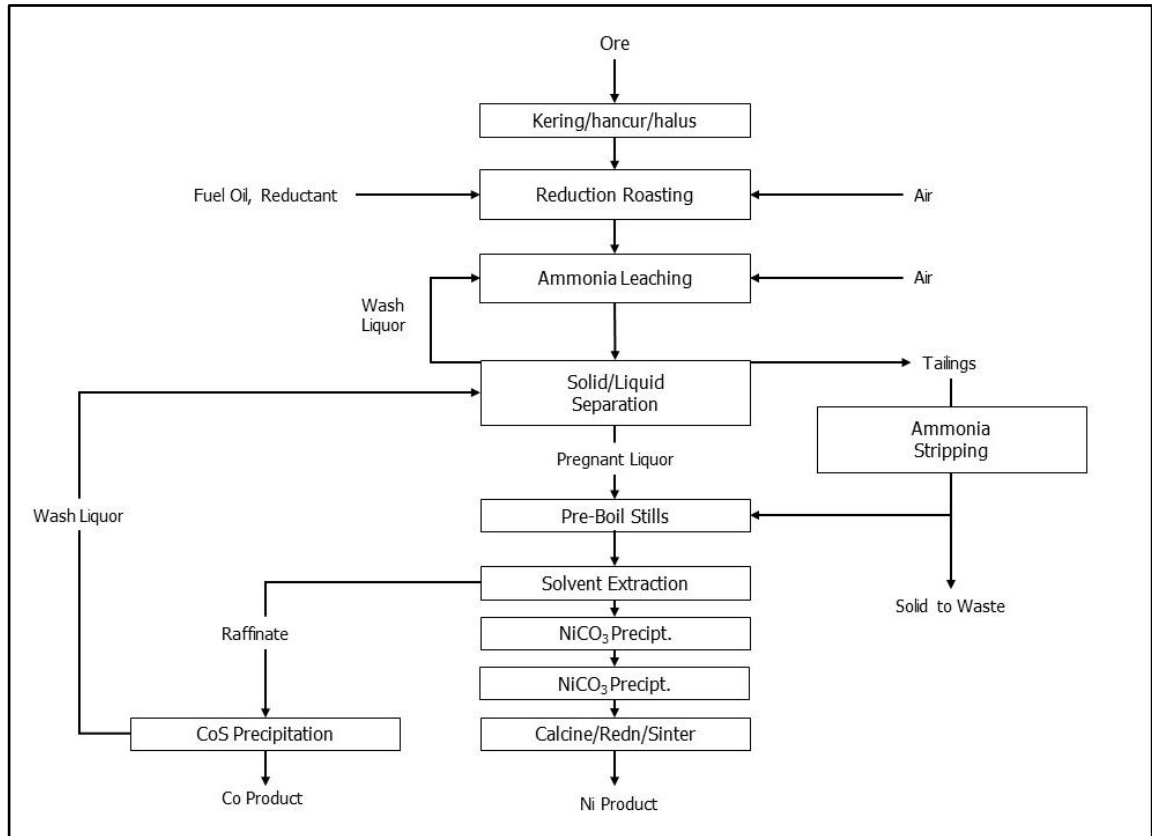
Nickel Pig Iron diproduksi di China mulai tahun 2006 untuk menjawab tingginya harga dan permintaan nikel. *Nickel Pig Iron* (NPI) merupakan ferronikel yang memiliki kadar nikel yang rendah (1,5-8%). Pembuatan NPI dilakukan dengan *mini blast furnace* dan *electric arc furnace* (EF). Proses produksi NPI pada *mini blast furnace* menggunakan kokas sebagai reduktor dan sumber energi. Karbon akan mereduksi besi sehingga kandungan FeO di dalam terak akan sangat kecil. Proses produksi NPI yang lain yaitu menggunakan *electric furnace*. Peningkatan kualitas EF dapat membantu efisiensi energi yang lebih tinggi dari proses *blast furnace*. Kelebihan utama dalam proses ini yaitu dapat mengolah bijih kadar rendah yang sulit dilakukan dengan proses pirometalurgi lain.

#### 2.4.2 Pengolahan Metode Hidrometalurgi.

Proses hidrometalurgi merupakan salah satu pengolahan nikel yang kompleks dan panjang, tetapi energi yang diperlukan rendah (Zheng, et al., 2014). Berbeda dengan proses pirometalurgi yang sederhana tetapi membutuhkan energi yang lebih besar, dan lebih sering digunakan pada bijih nikel laterit yang mengandung nikel dengan kadar tinggi (Ma, et al., 2016). Proses hidrometalurgi pada pengolahan bijih nikel laterit termasuk pelindian reduksi-amonia (proses caron), pelindian asam bertekanan, pelindian asam tanpa tekanan, dan pelindian secara bertumpuk. Prinsip dasar pelindian-amonia, pelindian asam bertekanan, dan pelindian asam pada kondisi tekanan atmosfer adalah bahwa nikel dan kobal dalam bijih laterit nikel dapat dipindahkan pada larutan pelindian, yaitu amonia atau asam, karena nikel dan kobal akan membentuk kompleks dengan amonia atau larut dalam asam (Bahfie, dkk, 2021).

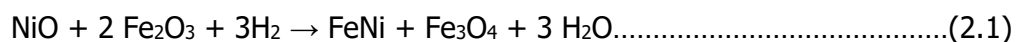
##### a. Proses Caron

Proses Caron atau sering didefinisikan Pelindian amonia. Proses ini pertama kali dikembangkan oleh Profesor Caron di Belanda pada tahun 1920-an dan dapat digunakan untuk bijih limonit dengan beberapa toleransi terhadap saprolit. Ini didasarkan pada reduksi selektif nikel dan kobal menjadi logam, diikuti dengan pelarutan dalam larutan amonia/amonium karbonat. Sejumlah kecil besi direduksi membentuk paduan dengan nikel dan kobal, dengan sisanya direduksi menjadi magnetit (Kyle, 2010). Proses Caron sebagian besar cocok untuk bijih limonit pada temperatur pemanggangan 700-800°C dengan reduktor dan penambahan amonium karbonat dari produk yang dipanaskan dapat menghasilkan 75-80% berat Ni dan 40-50% berat Co (Bahfie, dkk, 2021).

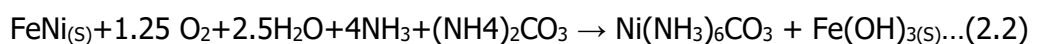


Gambar 2.7 Bagan alir Proses Caron (Kyle,2010).

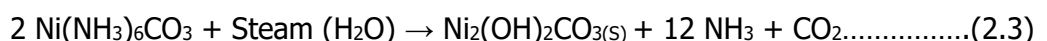
Reaksi pemanggangan (850 °C) dapat ditulis sebagai berikut (Kyle, 2010):



Setelah dilakukan pemanggangan bijih kemudian didinginkan pada suhu 150-200°C dan didinginkan dalam larutan amonia/amonium karbonat. Nikel dan kobal dilarutkan sebagai kompleks amonia dan besi dioksidasi dan diendapkan sebagai besi hidroksida meninggalkan larutan pelindian bebas besi.

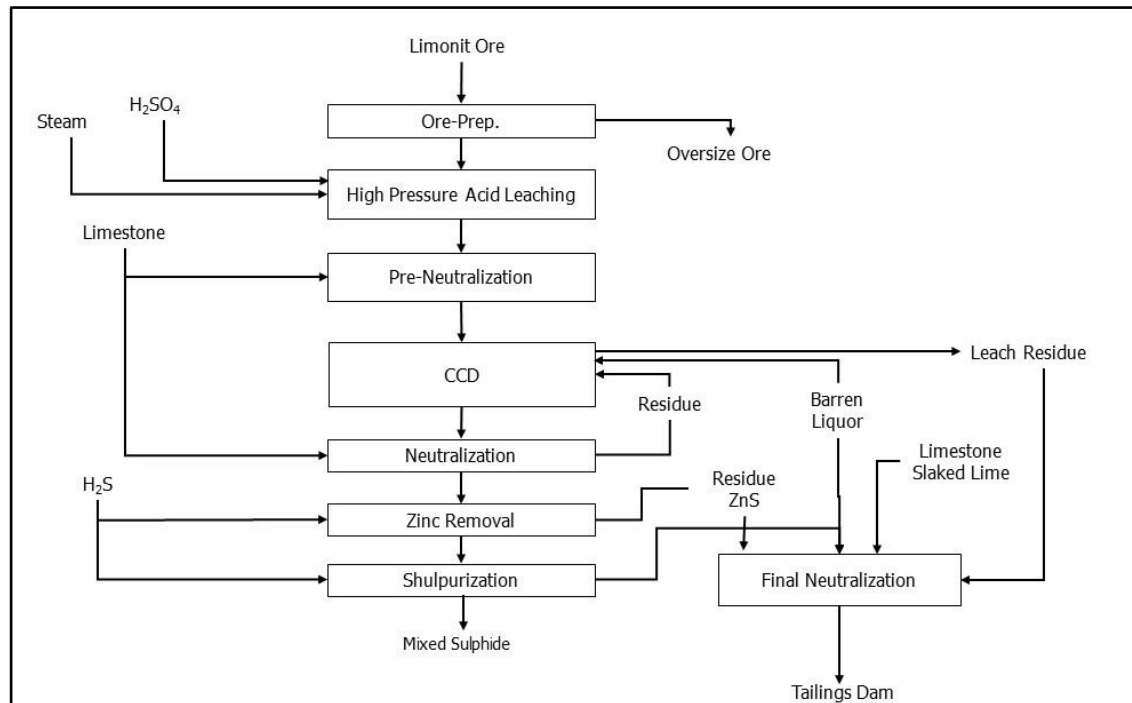


Setelah pemisahan padat-cair, kobal diperoleh kembali sebagai kobal sulfida sedangkan nikel diperoleh kembali sebagai nikel karbonat dasar dengan pengupasan uap.



Nikel karbonat dasar dapat dikalsinasi untuk menghasilkan produk akhir oksida nikel. Bagan alir dari Proses caron dapat dilihat pada Gambar 2.7 untuk proses yang lebih rinci.

b. *High Pressure Acid Leaching* (Pelindian Asam Tekanan Tinggi).

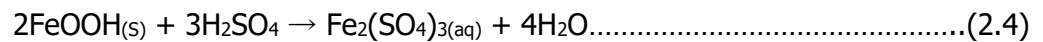


Gambar 2.8 Bagan Alir Proses HPAL (Kyle, 2010).

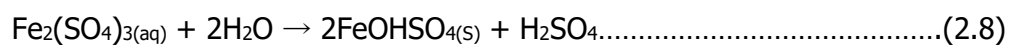
Proses HPAL merupakan proses pengolahan yang baik digunakan untuk bijih limonit (nikel kadar rendah), dengan syarat kandungan aluminium dan magnesium tidak memiliki kadar yang terlalu tinggi karena dapat meningkatkan konsumsi asam. Bijih dilarutkan dalam autoklaf dengan asam sulfat pada suhu 240-270°C melarutkan sebagian besar bijih ke dalam larutan. Suhu tinggi memastikan waktu reaksi cepat dengan waktu 60-90 menit, dan juga menghasilkan pengendapan sebagian besar besi terlarut sebagai hematit atau jarosit dan aluminium sebagai alunit (Kyle,2010). Bagan alir dari proses HPAL dapat dilihat pada Gambar 2.8.

Di bawah kondisi pelindian ini, khususnya mineral besi mengikuti jalur disolusi-presipitasi, membentuk oksida padat dan sulfat yang tidak larut, sementara nikel

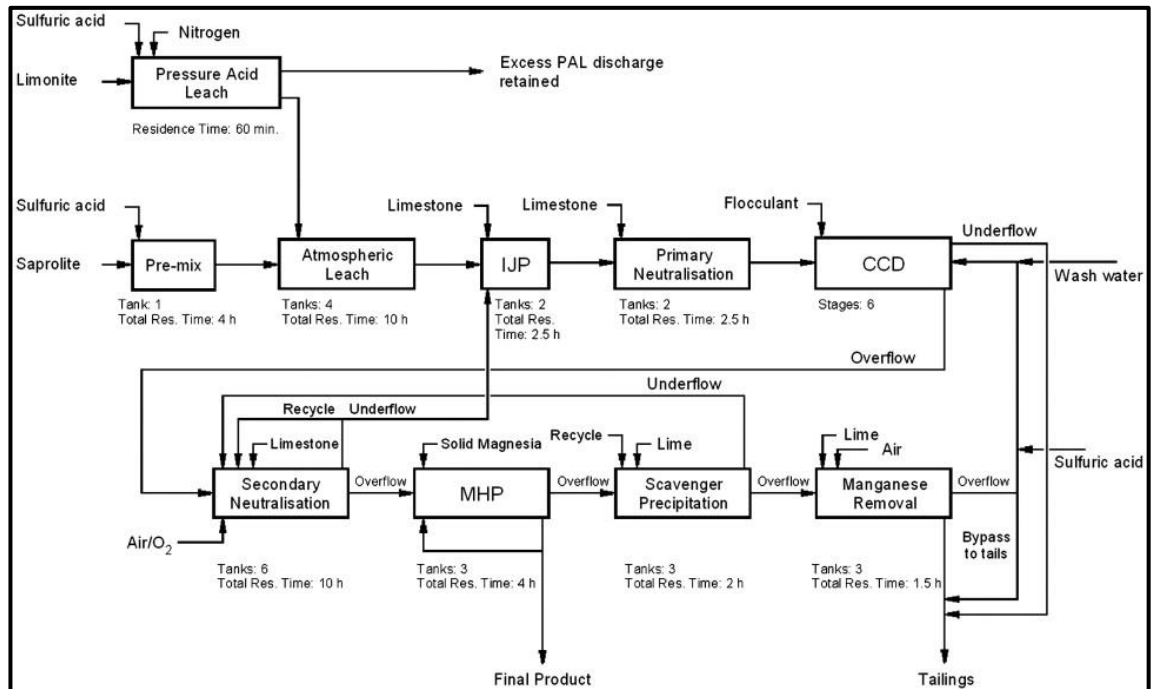
dan kobal larut dan tetap dalam fase larutan. Dengan cara ini pemisahan selektif nikel dan kobal dapat dicapai. Sebagai komponen utama dalam bijih, besi dalam goetit larut untuk menghasilkan besi sulfat menurut persamaan di bawah ini nikel dan kobal, hadir dalam struktur goetit, diasumsikan dalam bentuk oksida (atau hidroksida) (Ucyildiz & Girgin, 2016).



Setelah goetit larut, ion besi menghasilkan hidrolisis dengan cepat dan mengendap baik sebagai hematit atau sebagai besi sulfat dasar, yang dapat berubah menjadi hematit tergantung pada kondisi pelindian. Besi sulfat terbentuk di dasar larutan pelindian yang sangat asam. Jika salinitas tinggi (misalnya  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaCl}$ ) air proses digunakan, maka jarosit terbentuk. Reaksi pengendapan ini meregenerasi asam yang dikonsumsi selama pelarutan goetit awal (Ucyildiz & Girgin, 2016).



c. *Atmospheric Leaching* (Pelindian atmosfer).



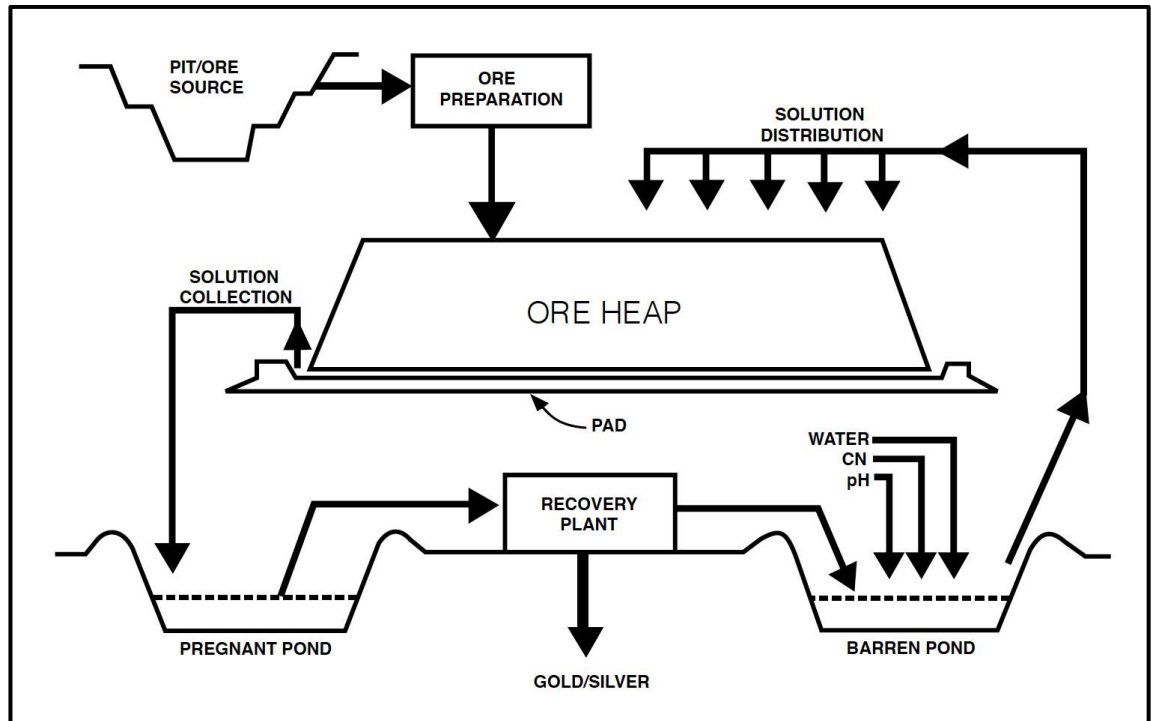
Gambar 2.9 Bagan Alir Proses Atmospheric Leaching (McDonald dan Whittington, 2008).

Penlindian atmosfer (*Atmospheric Leaching*) adalah metode yang digunakan untuk mengekstraksi nikel dari bijih nikel laterit kadar rendah dalam tekanan atmosfer. Asam yang biasa digunakan dalam proses ini adalah asam sulfat karena asam sulfat mudah diperoleh. Asam nitrat juga dapat digunakan untuk proses penlindian atmosfer oleh CSIRO di Australia Barat karena lebih mudah didaur ulang. Pencucian atmosfer bijih laterit melibatkan kontak bijih laterit (biasanya limonit) dengan larutan pekat asam mineral (biasanya asam sulfat) untuk melarutkan sebagian atau seluruhnya besi dan nikel ke dalam larutan. Proses ini dilakukan tepat di bawah titik didih bubur pada tekanan atmosfer (biasanya sekitar 100°C) hingga 12 jam. Selama proses ini, sulfur dioksida, atau zat pereduksi lain yang sesuai, dapat ditambahkan ke dalam bubur pelindian untuk membantu pelarutan kobalt. Waktu penlindian yang lama tidak hanya untuk melarutkan nikel ke dalam larutan tetapi juga untuk mendorong pengendapan besi dari larutan (Kyle,2010). Penelitian terkait dengan penlindian atmosfer menggunakan larutan asam sulfat telah dilakukan. Berbagai strategi dilakukan untuk meningkatkan perolehan nikel dengan proses



pelindian atmosfer dan juga meningkatkan selektivitas besi dan mengurangi konsumsi asam dengan meningkatkan suhu dan waktu leaching, menggunakan reduktor, dan katalis (McDonald dan Whittington, 2008). Dapat dilihat bagan alir dari proses AL pada Gambar 2.9.

d. *Heap Leaching* (Pelindian Bertumpuk).



Gambar 2.10 Bagan Alir Proses Heap Leaching (Fard, et al.,2008).

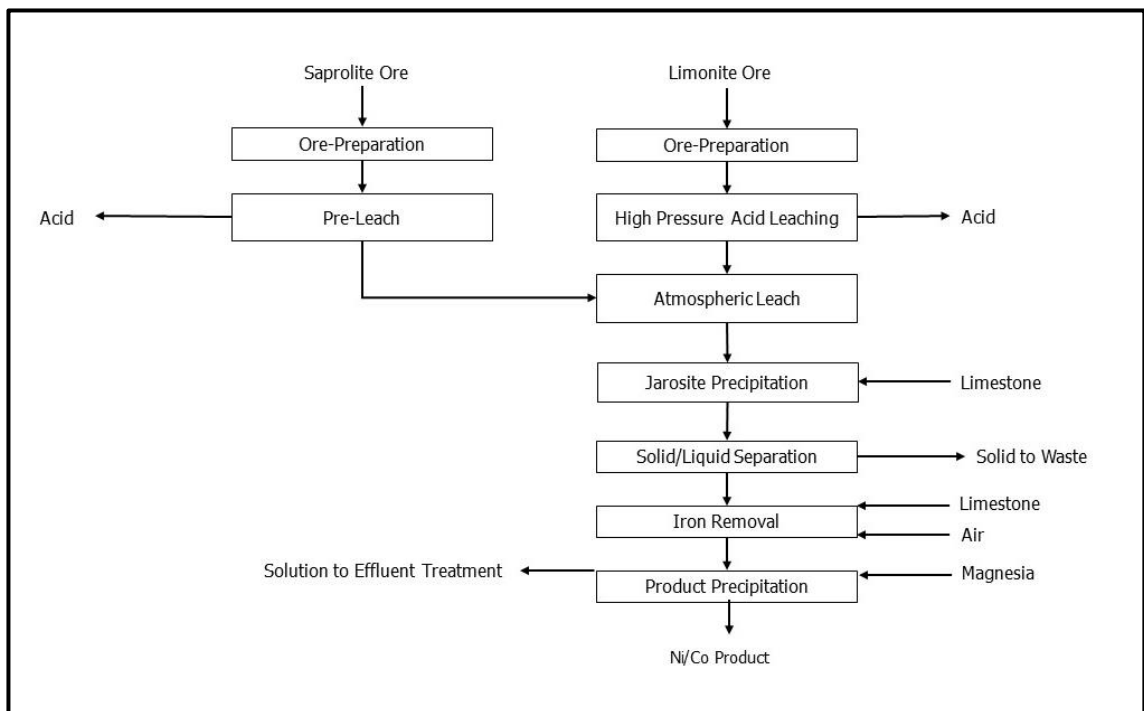
*Heap leaching* merupakan proses pengolahan bijih yang digunakan untuk mengekstraksi logam mulia, tembaga, uranium, dan senyawa lainnya dari bijih menggunakan serangkaian reaksi kimia yang menyerap mineral tertentu dan memisahkannya kembali setelah pembagiannya dari bahan-bahan bumi lainnya. Sebagian besar perusahaan pertambangan lebih memilih menggunakan proses heap leaching, mengingat heap leaching adalah alternatif yang lebih baik daripada metode pemrosesan konvensional seperti flotasi, agitasi, dan vat leaching (Petersen, 2002). Heap leaching awalnya dianggap hanya berlaku untuk bijih laterit tertentu, seperti Greek-Laterite, atau bijih yang sangat saprolitik. Namun,

proses tersebut sekarang sedang diselidiki untuk bijih limonit juga, menggunakan proses aglomerasi dengan asam sulfat untuk meningkatkan permeabilitas bijih. Hasil recovery pelindian tipikal nikel 65 - 85% memerlukan waktu selama 120-150 hari dengan konsumsi asam berkisar antara 200 hingga 600 kg/ton bijih (Kyle,2010). Gambar 2.10 menunjukkan bagan alir dari proses pengolahan *heap leaching*.

e. *Enhanced Pressure Acid Leaching* (EPAL)

Proses EPAL berasal dari proses *Atmospheric Leaching* yang diletakkan di samping *High Pressure Acid Leaching*. Proses *Atmospheric Leaching* digunakan untuk mengurangi kandungan asam yang tersisa dari proses *High Pressure Acid Leaching* 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 (Kyle,2010).

Berikut bagan alir dari proses EPAL dapat dilihat pada Gambar 2.11



Gambar 2.11 Bagan Alir Proses *Enhanced Pressure Acid Leaching* (Kyle, 2010).

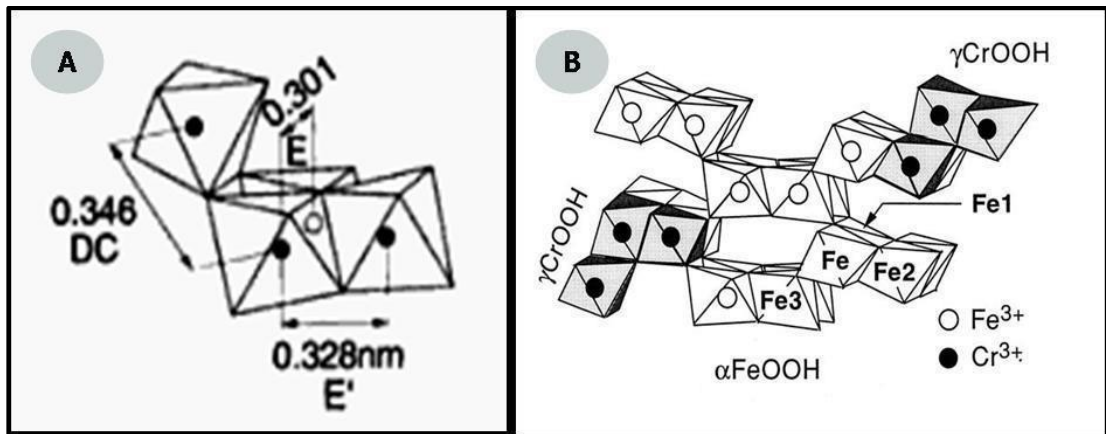
### 2.4.3 Perilaku Mineral Terhadap Larutan Asam

Terdapat banyak penelitian tentang perilaku kinetika dan mekanisme pelindian mineral yang biasa ditemukan dalam endapan nikel laterit menggunakan asam sulfat dan asam klorida. Dalam kebanyakan kasus, aktivitas proton mengatur reaktivitas daripada asam spesifik, oleh karena itu kedua asam di bawah ini memberikan pengetahuan dasar yang relevan dengan teknologi berbasis sulfat dan klorida. Berikut beberapa perilaku mineral terhadap larutan asam saat proses pelindian:

#### a. Goetit.

Goetit adalah salah satu oksida besi yang mengalami proses terhidrasi dalam bijih besi laterit sehingga sering disebut *Hydrated Iron Oxide* (Bakri dan Sanwani, 2019). Struktur goetit dibentuk oleh susunan berbentuk heksagonal rantai tertutup dari anion  $O^{2-}$  dan  $OH^-$  yang ditumpuk dengan kation  $Fe^{3+}$  dan menempati setengah dari situs oktahedral (Carvalho da-silva, et al., 2003). Dalam sistemnya jarak Fe-Fe bergantung pada hubungan struktur oktahedral dimana berbagi bersama antara *double corner* (DC), *edge* (E), atau *face* (F) (Gambar 2.12).  $Fe^{3+}$  dalam posisi oktahedral dapat disubstitusi sebagian oleh logam trivalen lainnya dengan ukuran yang sama terutama  $Al^{3+}$  dan sejenisnya seperti  $Mn^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ , dan  $V^{3+}$ . Beberapa kation logam divalen juga dapat ikut masuk ke dalam struktur goetit seperti  $Ni^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ , dan  $Ti^{2+}$ . Penggantian kation-kation tersebut disebut substitusi isomorfik, karena struktur kristal goetit tidak dimodifikasi (Chesword, 2008). Permukaan kristalografi goetit menunjukkan tingkat disolusi yang berbeda dalam asam (Cornell, et al., 1974). Hal ini diduga terkait dengan konsentrasi gugus hidroksil terkoordinasi tunggal (yaitu  $FeOH$ ) yang diharapkan lebih mudah dihilangkan oleh asam daripada gugus hidroksil yang terkoordinasi ganda atau tiga kali lipat. Namun, tergantung pada bentuk kristal goetit, dimungkinkan untuk menyesuaikan laju

disolusi dengan model kinetik inti/isotropik yang menyusut (Cornell, et al., 1975) atau sigmoidal (Schwertmann, et al., 1985).



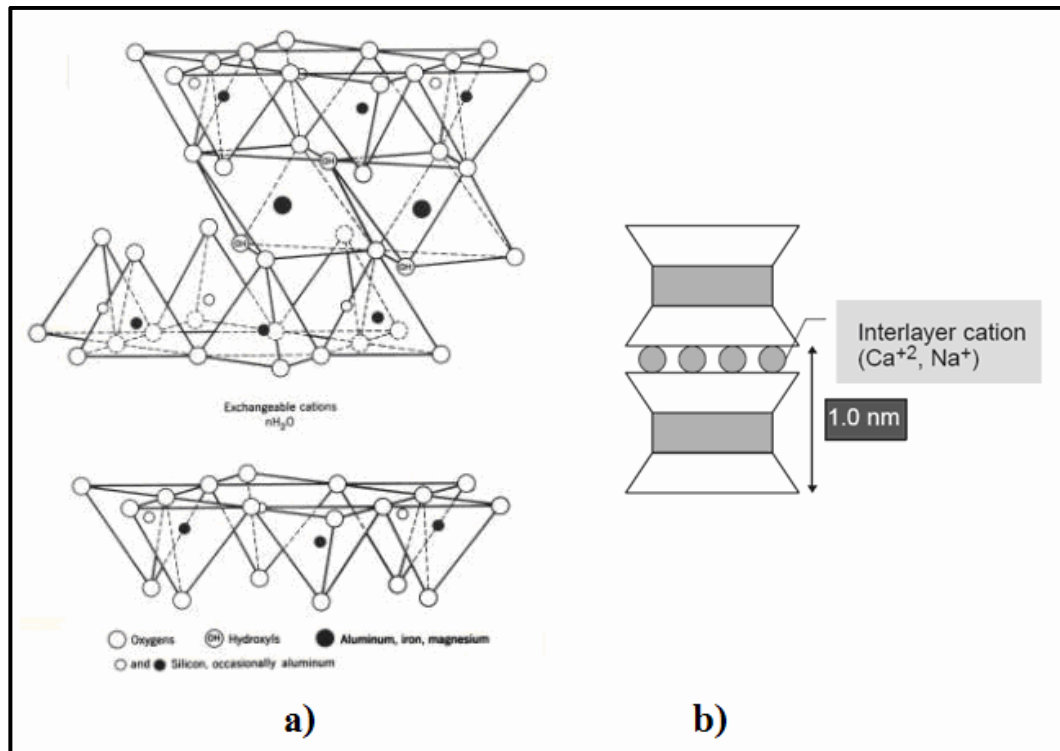
Gambar 2.12 A. Struktur dasar jarak Fe-Fe dalam goetit. B. Pertumbuhan secara Epitaxial  $\gamma\text{CrOOH}$  pada goetit (Cornell & Schwertmann, 2003).

Efek substitusi ionik untuk Fe dalam struktur goetit juga mempengaruhi proses pelarutan. Substitusi Fe dengan Al dan Cr menstabilkan goetit terhadap serangan proton, oleh karena itu laju disolusinya menurun. Menurut (McDonald dan Whittington 2008) bahwa Ni umumnya hadir dalam goetit dalam tiga mode: i) Bersama-sama dalam bentuk Kristal goetit yang tidak sempurna amorf, ii) Teradsorpsi ke permukaan goetit, dan iii) Mengganti salah satu ion Fe in dalam struktur goetit. Pada proses *leaching*, diharapkan butiran goetite sepenuhnya terlarut untuk melepaskan semua nikel yang terkandung dalam bijih tersebut.

#### b. Smektit

Smektit merupakan salah satu mineral lempung (*clay*) yang memiliki struktur T-O-T, satu lapisan alumina silikat yang diapit diantara dua lapisan silika tetrahedral seperti pada Gambar 2.13. Kerangka dasar smektit mirip dengan pyrophyllite, namun terdapat sejumlah Mg dan Fe yang tersubstitusi ke dalam lapisan oktahedral. Oleh karena itu, smektit dapat berupa dioktahedral maupun trioktahedral. Aspek terpenting smektit adalah kemampuan molekul  $\text{H}_2\text{O}$  terabsorpsi di antara lembaran

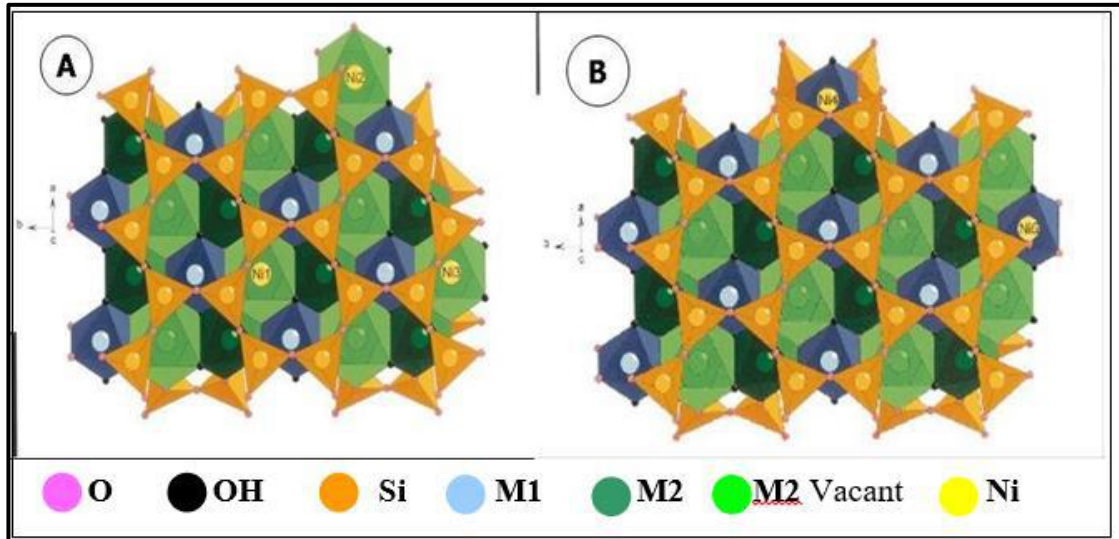
T-O-T sehingga menyebabkan volume mineral meningkat ketika terjadi kontak dengan air. Oleh karena itu, smektit dikenal sebagai *expanding clays*.



Gambar 2.13 Struktur Kristal Smektit.

Nontronit adalah kelompok smektit dioktahedral yang dapat mengandung hingga 4% Ni, sedangkan *end-member* smektit lainnya biasanya diperkirakan tidak lebih dari 1,5% nikel (Gaudin, et al., 2004). Ion Ni biasanya menggantikan Mg dalam kation terkoordinasi oktahedral dari struktur smektit (Gambar 2.13).

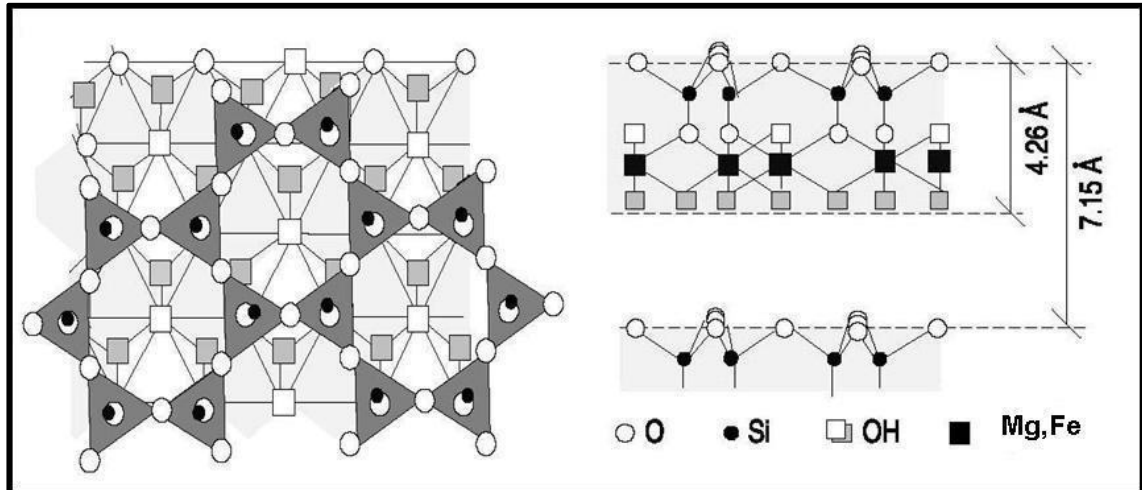
Penggunaan asam secara selektif untuk penguraian smektit menghasilkan (i) penggantian kation yang dapat ditukar dengan H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> yang diikuti oleh (ii) penghapusan oktahedral Al, Mg, dan Fe, kemudian (iii) menghilangkan tetrahedral Al dan Si. Penguraian dengan asam untuk lapisan smektit nampaknya lebih cepat daripada kaolinit. Hal ini menunjukkan bahwa smektit dapat mengalami *congruent dissolution* dengan dekomposisi struktur silikat yang lengkap dan penguraian kation logam (McDonald dan Whittington 2008).



Gambar 2.14 Model Simulasi serapan Ni pada struktur smektit: A=*cis vacant site* (cv) and B=*trans vacant site* (tv), (Dahn, 2003).

c. Serpentin.

Serpentin adalah kelompok silikat utama dalam bijih nikel laterit. Termasuk ke dalam mineral hidro-silikat Mg dengan formula umum  $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$  yang terdiri dari tiga jenis *end-member* yakni lizardite, chrysotile dan antigorite. Lizardite adalah mineral serpentin paling banyak kemudian antigorite dan chrysotile. Serpentin adalah mineral *phyllosilicate* yang memiliki sheet 1:1 lapisan dimana satu lembar tetrahedral terikat pada satu lembar oktahedral. Dalam struktur lizardit, lembaran tetrahedral dibangun dengan silikon sebagai atom pusat dan diikat dengan empat atom oksigen (Gambar 2.15), sedangkan lembar oktahedral dibingkai dengan satu kation  $Mg^{2+}$  di tengah terikat dengan delapan anion ( $O^{2-}$  atau  $OH^-$ ). Nikel dimasukkan dalam kisi-kisi (*lattice*) serpentin melalui penggantian kation Mg.



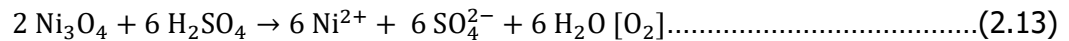
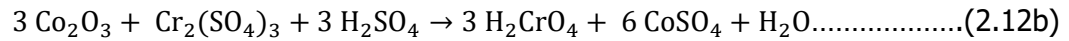
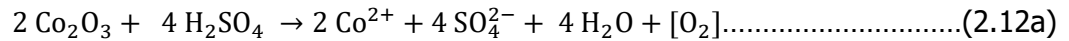
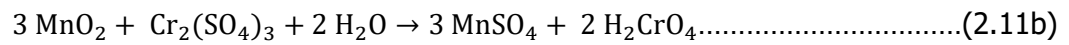
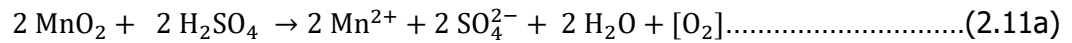
Gambar 2.15 Struktur kristal serpentine (Meunier, 2005).

#### 2.4.4 Perilaku Unsur Kimia Terhadap Asam

##### a. Nikel/Kobal/Mangan

Asam sulfat berperilaku sebagai asam monoprotik pada suhu tinggi, tetapi tidak pada suhu rendah. Mineral mangan dioksida biasanya kaya akan kobal, tetapi tidak sepenuhnya larut kecuali ada zat pereduksi (pada persamaan 2.11). Hal ini dapat berdampak negatif pada perolehan kobal. Ekstraksi kobal yang buruk pada pelindian asam pada bijih limonit, dengan kandungan  $MnO_2$  yang tinggi (14%), muncul karena adanya litioforit yang tidak terlindi. Sebaliknya, perolehan kobal dan mangan yang tinggi diperoleh dari bijih nontronit, karena reduksi  $Mn(IV)$  dalam litioforit dengan  $Fe(II)$  yang ada dalam lempung memungkinkan pembubaran  $Mn(II)$  dan kobal. Penambahan zat pereduksi lainnya dapat menghasilkan cairan dengan konsentrasi ion besi yang tinggi, yang akan menimbulkan masalah untuk proses yang melibatkan hidroksida antara atau ekstraksi pelarut langsung dari cairan pelindian asam. Biasanya, sekitar 50-60% mangan yang ada dalam bijih laterit larut sebagai sulfat. Dengan menggunakan analogi nodul mangan laut dalam, beberapa kobal dan nikel yang ada dalam mineral mangan laterit berada dalam keadaan trivalen. Dalam hal ini, pencucian bijih laterit dapat terjadi dengan Persamaan. (12a) dan (13) (dimana

[O], menunjukkan suatu spesies yang dioksidasi oleh Mn, Co atau Ni yang bervalensi lebih tinggi) (Whittington dan Muir, 2000)



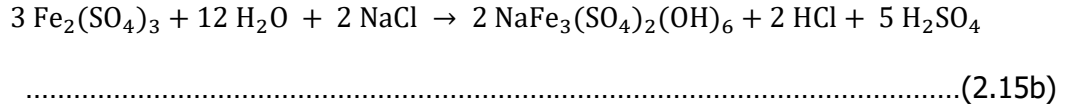
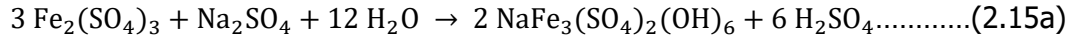
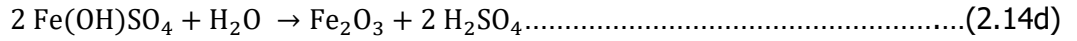
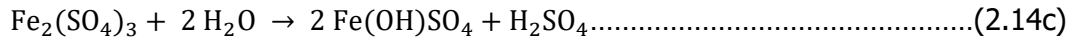
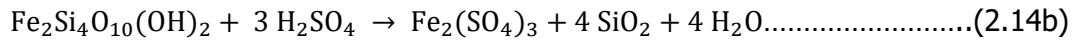
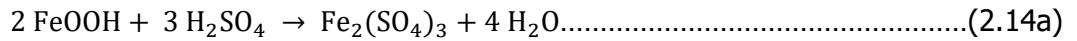
Persamaan ini mungkin merupakan penyederhanaan, terutama karena para peneliti menunjukkan bahwa pelarutan  $\text{MnO}_2$  diketahui melibatkan pembentukan spesies Mn(II), Mn(III) dan Mn(IV). Pelindian asam nikel dari bijih limonit Indonesia, dilakukan dalam *autoklaf batch* pada 230-270°C, pemuatan padatan 10-30%, rasio keasaman 0,15-0,35 dan kecepatan agitasi 400-650 rpm, dapat dimodelkan secara akurat jika asumsi dibuat bahwa difusi asam sulfat melalui pori-pori partikel adalah langkah pengontrol laju. Nilai difusivitas yang dihitung dari data pelindian eksperimental sangat rendah dan selanjutnya mendukung asumsi kontrol difusi pori untuk pelindian laterit nikel. Pori-pori kecil, 20-30 nm di pintu masuk tetapi berkurang dengan kedalaman menjadi kurang dari 2-3 nm diameter, telah diamati pada gambar mikroskop kekuatan atom goetit sintetis (Whittington dan Muir, 2000).

b. Besi

Bijih laterit mengandung sejumlah besar mineral yang mengandung besi (misalnya goetit, nontronit) yang mungkin juga mengandung nikel dan kobalt. Oleh karena itu, pencucian asam mineral ini harus diperlukan untuk membebaskan nikel dan kobalt. Pelarutannya membutuhkan konsumsi asam dalam jumlah yang signifikan (Persamaan (14a,b)) meskipun pengendapan besi yang dihasilkan pada pelarutan yang dilakukan dengan suhu tinggi menghasilkan asam (Persamaan (14c,d),



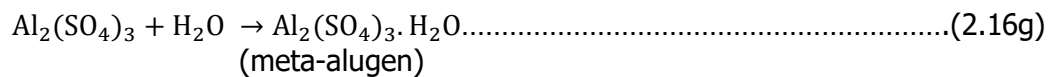
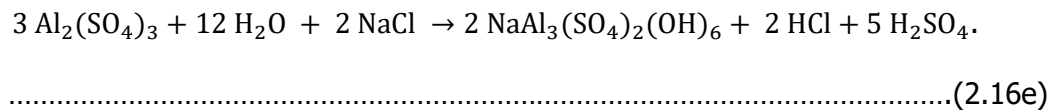
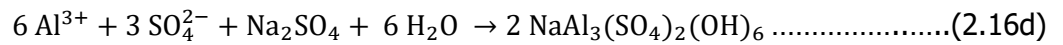
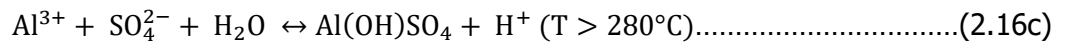
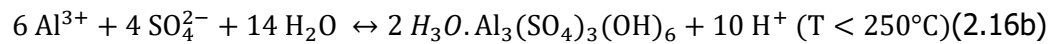
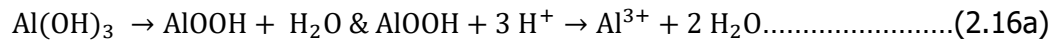
(15a,b)). Pembentukan jarosit memerlukan kehilangan asam yang lebih besar daripada pembentukan hematit (Persamaan (14) dan (15)).



Hayward (1998) menyarankan reaksi pelindian tambahan (2.14b) dan (2.15b) terjadi selama pencernaan bijih Bulong (Persamaan (2.15b) berbeda dari (2.15a) dalam penjelasan yang lebih eksplisit dibuat dari setiap klorida dari air asin). Hayward (1998) mengasumsikan pelarutan goetit dan nontronit (Persamaan (2.14a) dan (2.14b)) terjadi dalam beberapa menit pertama pelindian dan bahwa besi sulfat yang dihasilkan terhidrolisis menjadi hematit dan natrojarosit (Persamaan (2.14d) dan (2.15b)). Besi juga dapat mempengaruhi efektivitas operasi pasca peleburan.

c. Aluminium

Pembentukan kerak alunit yang mengandung aluminium-sulfur berkontribusi paling besar terhadap konsumsi asam. Persamaan ideal untuk pelarutan aluminium dan pengendapan berikutnya skala alunit disajikan dalam Persamaan (2.16a-c). Setiap gibbsite yang ada dalam bijih bereaksi terhadap boehmite setelah dicerna dan mineral inilah yang kemudian bereaksi dengan asam sulfat. Dengan adanya kation, seperti natrium yang berasal dari air sumur bor, natroalunite mengendap (Persamaan (16d)). Hayward (1998) menyarankan reaksi pelindian tambahan (2.16e-2.16g) terjadi selama pencernaan bijih Bulong (Persamaan (2.16e) berbeda dari (2.16d) dalam akun yang lebih eksplisit dibuat dari nasib setiap klorida dari air asin).

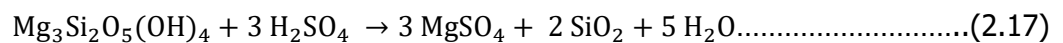


Komposisi aluminium sulfat dasar dan konsumsi asam konsekuen, bergantung pada suhu peleburan. Hidronioalunit, yang terbentuk pada suhu di bawah 250°C (Persamaan (2.16b)), menghasilkan regenerasi asam yang lebih besar/konsumsi asam yang lebih rendah daripada fase Al(OH)SO<sub>4</sub> yang terbentuk pada suhu di atas 280°C (Persamaan (2.16c)). Pembentukan Al(OH)SO<sub>4</sub> juga dapat terjadi pada suhu peleburan lebih rendah dari 280°C jika cairannya sangat asam. Pembentukan alunit yang efisien dengan hidrolisis termal, di bawah kondisi yang menyediakan asam bebas yang cukup untuk mempertahankan kelarutan nikel dan kobalt, membutuhkan suhu secara signifikan di atas 200°C, misalnya 240°C. Hidrolisis besi menjadi hematit terjadi pada suhu 200°C. Boehmite hadir dalam padatan yang terbentuk dalam 24,58 g H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/kg asam sulfat, tetapi tidak 49 atau 73,5 g H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/kg pada 230 atau 270°C (Whittington dan Muir, 2000).

#### d. Magnesium

Magnesium merupakan salah satu mineral yang terdapat di laterit. Biasanya, 50-60% magnesium larut dalam pelindian asam bertekanan untuk membentuk magnesium sulfat meskipun angka ini bervariasi (Whittington dan Muir, 2000). Steemson (1996) melaporkan tidak semua magnesium yang ada dalam magnesium

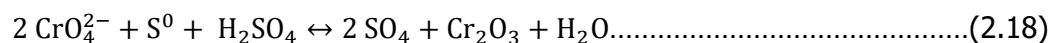
silikat dapat dilarutkan dengan asam, meskipun ini tidak selalu buruk karena ekstraksi magnesium lebih dari 70% dilaporkan mematahkan tulang punggung molekul magnesium silikat dan membanjiri sirkuit dengan silikon terlarut. Selain itu, karena magnesium sulfat tidak terhidrolisis lebih lanjut, secara kuantitatif mengkonsumsi asam. Pelarutan lempung dalam laterit dapat menghasilkan silika yang larut (Persamaan 2.17) (Hayward, 1998).



Garam Mg-S-H<sub>2</sub>O pada 250°C. Mg<sup>2+</sup> larut pada 250°C untuk pH < 2 sedangkan MgSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O mengendap pada 2 < pH < 4 (Da Silva, 1992). MgSO<sub>4</sub>.6H<sub>2</sub>O adalah fase stabil untuk suhu kurang dari 60-80°C, dengan monohidrat yang stabil pada suhu yang lebih tinggi (Whittington dan Muir, 2000).

e. Kromium

Kromium hadir dalam cairan pelindian sebagai Cr(III), dioksidasi menjadi CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (Persamaan (2.11b), (2.12b)). Pembersihan cairan silika membutuhkan CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup> yang cukup dalam cairan. Penambahan unsur belerang mengurangi konsentrasi cairan CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (Persamaan (2.18)) dan akan mempengaruhi penggabungan silika ke dalam alunit (Whittington dan Muir, 2000).



CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup> sebelumnya telah terbukti menghambat polimerisasi asam silikat meskipun kondisinya 1.0 M SiO<sub>2</sub>, 25°C, pH 0,5-2,5, Cr: rasio molar Si 0-1,5 (Iler, 1952). Hubungan linier antara penggabungan CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup> dan Ni(II) atau Mn(II) ke dalam alunit dengan kandungan alunit Ni(II) atau Mn(II) naik dengan meningkatnya CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup> penggabungan. Diharapkan penambahan belerang selama peleburan untuk meminimalkan kandungan nikel alunit dan karenanya meningkatkan ekstraksi nikel secara keseluruhan. Berbagai fase yang mengandung krom yang diamati selama

pelindian asam suhu tinggi di  $\text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  sistem.

f. Silika

Silika terlarut ( $\text{Si}(\text{OH})_{4(\text{aq})}$ ) dapat dihasilkan dari pelarutan kuarsa atau silika amorf atau dari pelarutan magnesium silikat (Persamaan (2.17)). Kelarutan kesetimbangan asam monosilikat dalam air meningkat dengan suhu (0-300 °C) tetapi relatif tidak sensitif terhadap pH ketika dalam larutan asam. Laju polimerisasi asam monosilikat meningkat dengan meningkatnya jenuh, suhu dan penambahan benih aktif. Periode induksi yang sering terjadi sebelum permulaan polimerisasi dapat dihilangkan dengan penyemaian, penggunaan cairan supersaturasi tinggi dan/atau suhu tinggi (Whittington dan Muir, 2000).

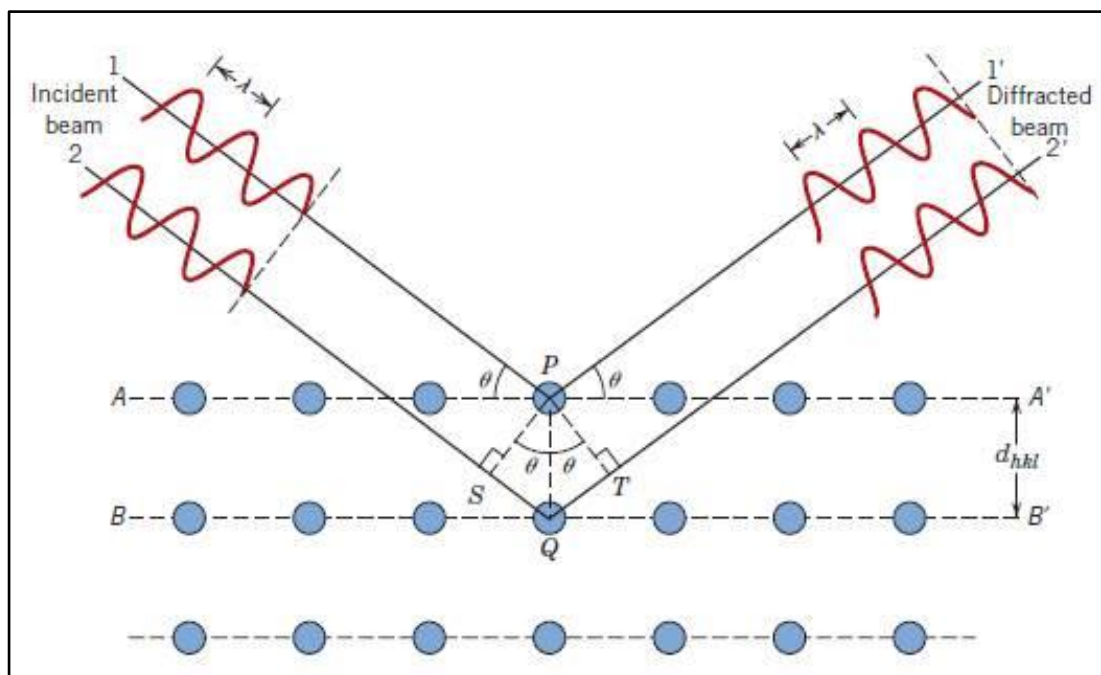
## 2.5 Analisis Mineralogi.

### 2.5.1 Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD).

Salah satu teknik yang digunakan untuk menentukan struktur suatu padatan kristalin adalah metode difraksi sinar-X (*X-ray diffraction*) seperti terlihat pada Gambar 2.17. Sampel berupa serbuk padatan kristalin yang memiliki ukuran kecil dengan diameter butiran kristalnya sekitar  $10^{-7}$ – $10^{-4}$  m ditempatkan pada suatu plat kaca. Sinar-X diperoleh dari elektron yang keluar dari filamen panas dalam keadaan vakum pada tegangan tinggi, dengan kecepatan tinggi menumbuk permukaan logam, biasanya tembaga (Cu). Sinar-X tersebut menembak sampel padatan kristalin, kemudian mendifraksikan sinar ke segala arah dengan memenuhi Hukum Bragg. Detektor bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan untuk mendeteksi berkas sinar-X yang didifraksikan oleh sampel. Sampel serbuk atau padatan kristalin memiliki bidang-bidang kisi yang tersusun secara acak dengan berbagai kemungkinan orientasi, begitu pula partikel-partikel kristal yang terdapat di dalamnya. Setiap kumpulan bidang kisi tersebut

memiliki beberapa sudut orientasi sudut tertentu, sehingga difraksi sinar-X memenuhi Hukum Bragg (Warrent, 1969).

Bentuk keluaran dari difraktometer dapat berupa data analog atau digital. Rekaman 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 (Warrent, 1969).



Gambar 2.17 Difraksi Sinar X (Jamaluddin 2010).

Pola difraktogram yang dihasilkan berupa deretan puncak-puncak difraksi dengan intensitas relatif bervariasi sepanjang nilai  $2\theta$  tertentu. Besarnya intensitas relatif dari deretan puncak-puncak tersebut bergantung pada jumlah atom atau ion yang ada, dan distribusinya di dalam sel satuan material tersebut. Pola difraksi setiap padatan kristalin sangat khas, yang bergantung pada kisi kristal, unit parameter dan panjang gelombang sinar-X yang digunakan. Dengan demikian, sangat kecil kemungkinan dihasilkan pola difraksi yang sama untuk suatu padatan kristalin yang berbeda (Warrent, 1969).

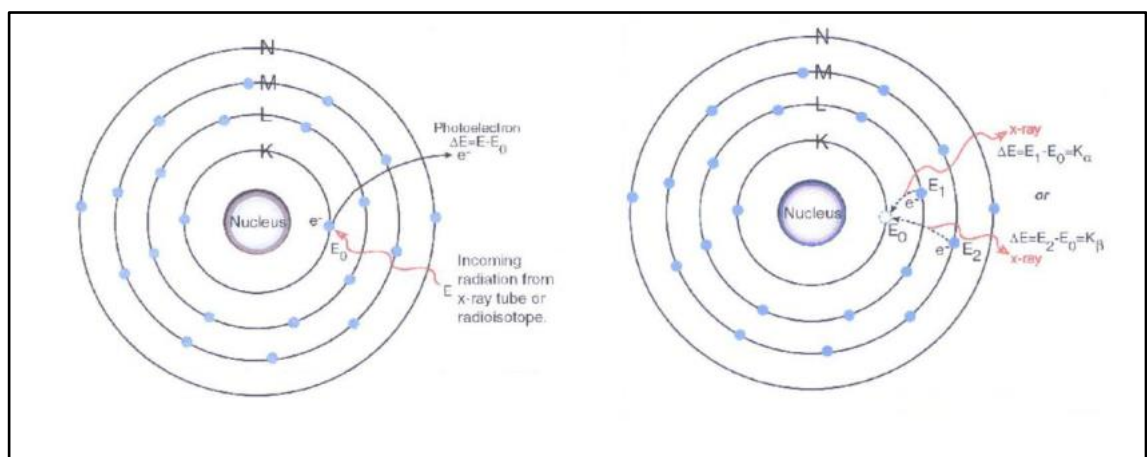
### 2.5.2 Analisis Mineragrafi.

Mikroskop polarisasi adalah mikroskop yang menggunakan cahaya terpolarisasi untuk mengamati objek pengamatan sayatan tipis dan sayatan poles dari 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*) (William, 1991).

Mikroskop polarisasi mempunyai sifat dan penggunaan yang berbeda jika dibandingkan dengan jenis mikroskop lainnya. Mikroskop polarisasi inipun terbagi atas dua bagian, yaitu jenis mikroskop polarisasi bias dan mikroskop polarisasi pantul. Mikroskop polarisasi yang digunakan dalam praktikum ini adalah mikroskop polarisasi bias yang menggunakan cahaya terbias, jenis mikroskop ini digunakan untuk sifat-sifat optik mineral ataupun batuan yang tembus cahaya, setelah disayat sebesar 0,03 mm, sedang jenis mikroskop polarisasi pantul digunakan untuk mengamati mineral ataupun batuan yang tidak tembus cahaya (opaq). 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 (Phillip, 1971).

## 2.6 Analisis Kimia.

Analisis yang dapat dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia dari mineral bijih yakni menggunakan Metode *X-Ray Fluorescence* (XRF). Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan sinar-x karakteristik yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target (sampel) terkena sinar berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-x). Bila energi sinar tersebut lebih tinggi daripada energi ikat electron dalam orbit K, L atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. Dengan demikian atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-x. Sinar-x yang dihasilkan merupakan suatu gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu (*discreet*) yang berasal dari bahan sasaran yang tertumbuk elektron. Jenis spektrum *discreet* yang terjadi tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan. Spektrum ini dikenal sebagai spektrum sinar-x karakteristik (Jamaluddin dan Adiantoro, 2012).



Gambar 2.18 Proses Terjadinya Sinar-X (Jamaluddin dan Adiantoro, 2012).

Prinsip kerja alat XRF adalah sinar-x fluoresensi yang dipancarkan oleh sampel dihasilkan dari penyinaran sampel dengan sinar-x primer dari tabung sinar-x (*X-Ray Tube*), yang dibangkitkan dengan energi listrik dari sumber tegangan sebesar 1200 volt.

Bila radiasi dari tabung sinar-x mengenai suatu bahan maka elektron dalam bahan tersebut akan tereksitasi ke tingkat energy yang lebih rendah, sambil memancarkan sinar-x karakteristik. Sinar-x karakteristik ini ditangkap oleh detektor diubah ke dalam sinyal tegangan (*voltage*), diperkuat oleh Preamp dan dimasukkan ke analyzer untuk diolah datanya. Energi maksimum sinar-x primer (keV) tergantung pada tegangan listrik (kVolt) dan kuat arus ( $\mu$ Ampere). Fluoresensi sinar-x tersebut dideteksi oleh detektor SiLi (Jamaluddin dan Adiantoro, 2012).