

**ANALISIS PERBANDINGAN KADAR NIKEL LATERIT ANTARA  
DATA BOR DAN PRODUKSI PENAMBANGAN: IMPLIKASINYA  
TERHADAP PENGOLAHAN BIJIH**

(Studi Kasus: Blok X, PT. Vale Indonesia, Tbk. Desa Sorowako, Kabupaten Luwu Timur,  
Provinsi Sulawesi Selatan)

**SKRIPSI**



**MIFTA ACHMAD FAIZ**

**D621 15 304**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERTAMBANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2020**

## HALAMAN PENGESAHAN



**MIFTA ACHMAD FAIZ**

**NIM. D62115304**

### **ANALISIS PERBANDINGAN KADAR NIKEL LATERIT ANTARA DATA BOR DAN PRODUKSI PENAMBANGAN: IMPLIKASINYA TERHADAP PENGOLAHAN BIJIH**

(Studi Kasus: Blok X, PT. Vale Indonesia, Tbk. Desa Sorowako, Kabupaten Luwu Timur,  
Provinsi Sulawesi Selatan)

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S-1)  
pada Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin  
Disetujui di Gowa, 21 Agustus 2020

Disetujui oleh,

Pembimbing I

Dr. Sufriadin, ST., MT.

NIP. 19660817 200012 1 001

Pembimbing II

Dr. phil. nat. Sri Widodo, ST., MT.

NIP. 19710101 201212 1 001

Mengetahui,  
Kepala Departemen Teknik Pertambangan  
Universitas Hasanuddin

Dr. Eng. Purwanto, St., MT.

Nip. 19711128 200501 1 002

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Mifta Achmad Faiz  
NIM : D621 15 304  
Judul Tugas Akhir : Analisis Perbandingan Kadar Nikel Laterit Antara Data Bor dan Produksi Penambangan: Implikasinya Terhadap Pengolahan Bijih (Studi Kasus: Blok X, PT. Vale Indonesia, Tbk. Desa Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan tugas akhir ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan yang tercantum sebagai bagian dari tugas akhir ini. Jika terdapat karya orang lain, saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini dan sanksi lain sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin. Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Gowa, 21 Agustus 2020

g membuat pernyataan,



*Mifta Achmad Faiz*  
**MIFTA ACHMAD FAIZ**

D621 15 304

## ABSTRAK

Nikel laterit merupakan endapan bijih nikel yang terbentuk dari proses pelapukan batuan ultramafik. Sekitar 72% sumber daya nikel dunia berasal dari endapan nikel laterit dan sekitar 15,8% endapan nikel laterit terdapat di Indonesia. Penelitian ini dilakukan di Blok X, PT Vale Indonesia yang terletak di Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan kadar bijih nikel laterit antara data bor dan data produksi penambangan, korelasi Ni dengan unsur Mg, Si, Co dan Fe serta implikasinya terhadap pengolahan bijih. Bijih nikel laterit pada data bor memiliki kadar rata-rata Ni sebesar 1,88%, Fe sebesar 21,84%, Co sebesar 0,09%, SiO<sub>2</sub> sebesar 29,89%, MgO sebesar 18,32% dan rasio S/M sebesar 1,63. Selanjutnya bijih nikel laterit pada data produksi memiliki kadar rata-rata Ni sebesar 1,76%, Fe sebesar 18,59%, Co sebesar 0,07%, SiO<sub>2</sub> sebesar 33,96%, MgO sebesar 21,66% dan rasio S/M sebesar 1,57. Perbedaan tersebut diakibatkan oleh beberapa faktor seperti penyebaran bijih yang tidak merata, dilusi bijih, serta pengambilan dan preparasi sampel. Korelasi unsur nikel dengan silika menunjukkan nilai koefisien korelasi (r) sebesar +0,3411, dengan magnesia sebesar +0,411, dengan unsur besi sebesar -0,4284 dan dengan kobalt sebesar -0,0271. Hasil perbandingan antara data produksi penambangan dan data spesifikasi umpan pabrik peleburan menunjukkan bahwa secara umum bijih hasil penambangan selama tahun 2019 telah memenuhi spesifikasi. Hal ini ditunjukkan oleh data sekitar 66% (8 dari 12 bulan) menunjukkan kadar Fe dan S/M yang memenuhi syarat. Selanjutnya produk penambangan pada blok X ini di-*blending* hingga memenuhi spesifikasi umpan yang diminta oleh pabrik pengolahan.

Kata Kunci: Nikel laterit, Kadar, Pengolahan Bijih, Analisis Korelasi, Data Bor, Produksi Penambangan

## **ABSTRACT**

*Laterite nickel is the nickel ore deposit formed by weathering of ultramafic rocks. Approximately 72% of world nickel resources are contained in laterite deposits and around 15.8% deposits are found in Indonesia. This study was conducted at Block X, PT Vale Indonesia, located in Nuha, East Luwu Regency, South Sulawesi Province. This study aims to identify the differences of nickel laterite grade of the drill holes data and the mining production data, correlation of Ni with Mg, Si, Co, Fe and implications for processing of the ore. Based on the identification results, laterite nickel in drill hole data contain average grade of Ni 1.88%, Fe is 21.84%, Co is 0.09%, SiO<sub>2</sub> is 29.89%, MgO is 18.32% and S/M ratio is 1.63. Laterite nickel in mining production data contain average grade of Ni 1.76%, Fe is 18.59%, Co is 0.07%, SiO<sub>2</sub> is 33.96%, MgO is 21.66% and S/M ratio is 1.57. There are differences due to several factors such as the uneven distribution of ore, ore dilution, and sampling – sample preparation. Correlation of nickel element with silica (SiO<sub>2</sub>) show correlation coefficient value (r) +0.3411, with magnesia (MgO) +0.411, with Fe -0.4284 and with Co -0.0271. The results of comparisons between mining production data and feed specification on processing plant data indicate that mining products during 2019 have generally met the specified grade specifications. This is indicated by data about 66% (8 of 12 months) showing the results of Fe and S/M levels that are on specification. Furthermore, the mining products at Block X are blended to meet the feed specifications requested by the processing plant.*

**Keywords:** *Laterite Nickel, Grade, Ore Processing, Correlation Analysis, Drill hole data, Production data*

## KATA PENGANTAR

Puja dan puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah *subhanahu wa ta'ala* karena walaupun semua pohon di muka bumi dijadikan pena dan semua air di lautan dijadikan tinta tidak akan pernah cukup untuk menuliskan nikmat yang telah diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi dengan judul "Analisis Perbandingan Kadar Nikel Laterit antara Data Bor dan Produksi Penambangan: Implikasinya Terhadap Pengolahan Bijih (Studi Kasus: Blok X, PT. Vale Indonesia, Tbk. Desa Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan)".

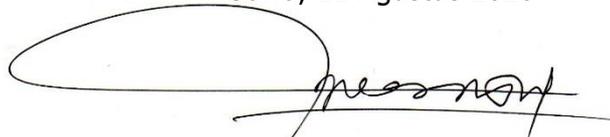
Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana di Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Proses perkuliahan dari awal hingga penyusunannya merupakan pendewasaan diri yang terlampau berharga sehingga tidak dapat dinilai secara materi. Melalui tulisan ini, penulis ingin menyampaikan rasa kasih sayang, hormat dan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua yang senantiasa menyayangi, mendoakan dan memberikan *support* yang tidak ternilai dalam proses kehidupan penulis sampai hari ini.
2. Bapak Jasman, S.T. selaku *Manager of Ore Reconciliation*, Ibu Aztuty Amier selaku *Coordinator Management & Technical Training* yang membantu penulis secara administratif sehingga dapat memperoleh izin pengambilan data di PT. Vale Indonesia, Bapak Adhie Wahyudi Saputra, S.T. selaku *Geologist Ore Reconciliation* yang telah menjadi pembimbing selama pengambilan data serta seluruh Anggota Divisi *Mine Engineer* PT. Vale Indonesia, Tbk. yang telah banyak membantu dan memberikan dukungan dalam pembuatan laporan ini.

3. Bapak Dr. Sufriadin, ST., MT. selaku dosen pembimbing 1 dari Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin yang telah membimbing saya dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Dr. phil. nat. Sri Widodo, ST., MT. selaku dosen pembimbing 2 dari Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin yang telah memberikan saran dan masukan dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak dan ibu dosen Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin yang tidak ada lelahnya dalam membimbing penulis dalam ruang-ruang perkuliahan.
6. Keluarga kecil bernama STABILITY 2015 (Teknik Pertambangan Unhas 2015), tanpa kalian saya tidak akan bisa sampai pada titik ini. Terima kasih atas bantuannya.
7. Jajaran pengurus OKFT-UH periode 2019 dan PERMATA FT-UH periode 2018/2019 yang telah memberikan ruang-ruang untuk dapat mengembangkan diri.

Penulis mengharapkan para pembaca dan penyimak memberi kritik dan saran pada skripsi ini sehingga skripsi ini dapat digunakan sebagai acuan untuk penelitian yang akan datang. Akhir kata, apabila terdapat kesalahan penulisan dan tata bahasa, penulis mohon maaf.

Gowa, 21 Agustus 2020



MIFTA ACHMAD FAIZ

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>iv</b>
<b><i>ABSTRACT</i>.....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Tahapan Penelitian .....	4
1.6 Lokasi dan Kesampaian Daerah Penelitian.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>8</b>
2.1 Geologi Daerah Penelitian.....	8
2.1.1 Geologi Regional.....	8
2.1.2 Geologi Lokal.....	8
2.2 Nikel dan Besi .....	11
2.2.1 Nikel.....	11
2.2.2 Besi.....	14
2.3 Nikel Laterit .....	15
2.3.1 Pembentukan Endapan Nikel Laterit.....	15
2.3.2 Klasifikasi Endapan Nikel Laterit.....	17

2.4	Pengolahan Bijih Nikel Laterit .....	20
2.4.1	Pirometalurgi.....	21
2.4.2	Hidrometalurgi.....	25
2.4.3	Pengolahan Bijih Nikel Laterit pada PT. Vale Indonesia .....	27
<b>BAB III METODE .....</b>		<b>31</b>
3.1	Pengumpulan Data .....	31
3.1.1	Data Bor .....	31
3.1.2	Data Produksi .....	31
3.1.3	Spesifikasi Umpan.....	33
3.1.4	Peta Batas <i>Pit</i> Blok X .....	34
3.2	Prosedur Penelitian.....	34
3.2.1	Kadar rata-rata Data Produksi .....	35
3.2.2	Kadar rata-rata Data Bor.....	35
3.2.3	Perbandingan Kadar serta Korelasi Kadar Nikel Laterit .....	36
3.2.4	Implikasi Kadar Produksi Penambangan terhadap Pengolahan Bijih .....	37
3.2.5	Pembuatan Peta Distribusi Kadar .....	37
3.3	Diagram Alir Penelitian.....	38
<b>BAB IV PEMBAHASAN .....</b>		<b>39</b>
4.1	Perbandingan dan Korelasi Unsur-unsur pada Bijih Nikel Laterit.....	39
4.1.1	Perbandingan Kadar Nikel Laterit.....	39
4.1.2	Korelasi Unsur-unsur pada Bijih Nikel Laterit.....	43
4.2	Implikasi Terhadap Pengolahan .....	47
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>50</b>
5.1	Kesimpulan.....	50
5.2	Saran .....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>52</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>56</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Peta Lokasi Penelitian .....	6
2.1 Geologi regional daerah Pulau Sulawesi (Kadariusman, et al ., 2004).....	10
2.2 Penggunaan nikel Amerika Serikat di luar nikel daur ulang tahun 2015 (Mcrae, 2018).....	11
2.3 Persebaran endapan nikel di dunia (Elias, 2002) .....	13
2.4 Sketsa Zona Endapan Nikel Laterit (Elias, 2002) .....	17
2.5 Generalisasi penampang laterit nikel dan zona bijih yang berkembang di atas batuan ultramafik pada wilayah tropis serta opsi proses ekstraksinya (Brand et, al., 1998).....	20
2.6 Diagram Alir Sederhana Ekstraksi Ni-Laterit dengan metode Pirometalurgi (Setiawan, 2016).....	25
2.7 Bagan alir pengolahan limonit dengan proses HPAL di Moa Bay (Kursunoglu & Kaya, 2016) .....	27
2.8 Tahapan Pengolahan Bijih Ni-Laterit PTVI (PT. Vale Indonesia, 2018).....	29
3.1 Diagram Alir Preparasi dan Analisis dari bor PTVI.....	32
3.2 Diagram Alir Preparasi dan Analisis Sampel Produksi PTVI .....	33
3.3 Peta batas pit blok X.....	34
3.4 Diagram alir penelitian .....	38
4.1 Grafik Perbandingan Kadar Ni-Laterit Blok X.....	40
4.2 Ilustrasi Titik Bor .....	41
4.3 Hubungan antara Fe dan Ni.....	43
4.4 Hubungan antara Co dan Ni .....	44

4.5	Hubungan antara SiO <sub>2</sub> dan Ni .....	44
4.6	Hubungan antara MgO dan Ni.....	45
4.7	Skema Dispersi Geokimia (Rose, et al,. 1979).....	46
4.8	Ringkasan variasi metode pengolahan bijih Nikel Laterit (Butt, 2005 dalam Husain, et al., 2018).....	47

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Klasifikasi <i>Mobile Element</i> pada Endapan Ni-Laterit (Trescases, 1975).....	16
2.2 Klasifikasi Endapan Ni-Laterit Berdasarkan Mineralogi (Brand et al., 1998; Gleeson et al., 2003).....	18
2.3 Spesifikasi Target Kadar Bijih pada Blok <i>East</i> dan <i>West</i> .....	28
3.1 Hasil Akumulasi Data Produksi Tonase dan Kadar Tahun 2019 .....	35
3.2 Hasil Akumulasi Kadar dari Data Bor.....	36
3.1 Klasifikasi Korelasi Pearson (Sugiyanto, 2018) .....	37
4.1 Perbandingan Kadar .....	39
4.2 Tingkat Hubungan Ni dengan Fe, Co, Mg, SiO <sub>2</sub> , dan MgO .....	46
4.3 Perbandingan antara Data Produksi Penambangan dan Spesifikasi Umpan Blok X Tahun 2019 .....	49

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A Kadar Bijih Nikel Laterit dari Data Produksi.....	57
B Kadar Bijih Nikel Laterit dari Data Bor .....	58
C Peta Persebaran Kadar Nikel .....	67
D Peta Persebaran Kadar Besi .....	68
E Peta Persebaran Rasio S/M.....	69
F Peta Persebaran Titik Bor .....	70
G Kartu Konsultasi Tugas Akhir .....	71

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Bijih nikel laterit merupakan salah satu sumber daya mineral yang melimpah di Indonesia. Cadangan bijih nikel laterit di Indonesia mencapai 12% cadangan nikel dunia, yang tersebar di Pulau Sulawesi, Maluku, dan pulau kecil-kecil disekitarnya. Bijih nikel laterit digolongkan menjadi dua jenis, yaitu saprolit yang berkadar nikel tinggi dan limonit yang berkadar nikel rendah. Perbedaan menonjol dari dua jenis bijih ini adalah kandungan Fe (besi) dan Mg (magnesium), bijih saprolit mempunyai kandungan Fe rendah dan Mg tinggi sedangkan limonit kandungan Fe tinggi dan Mg rendah (Dalvi, et al., 2004).

Nikel laterit merupakan salah satu mineral logam hasil dari proses pelapukan kimia batuan ultramafik yang mengakibatkan pengkayaan unsur Ni, Fe, Mn, dan Co secara residual dan sekunder (Syafrizal, 2011). Nikel laterit dicirikan oleh adanya logam oksida yang berwarna coklat kemerahan mengandung Ni dan Fe (Cahit et al., 2017). Salah satu faktor yang mempengaruhi pembentukan endapan nikel laterit adalah morfologi, batuan asal, dan tingkat pelapukan (Kurniadi et al., 2017).

Tingkat pelapukan yang tinggi sangat berperan terhadap proses lateritisasi (Tonggihroh et al., 2012). Proses terbentuknya nikel laterit dimulai dari proses pelapukan yang intensif pada batuan peridotit (Sundari dan Woro, 2012), selanjutnya infiltrasi air hujan masuk ke dalam zona retakan batuan dan akan melarutkan mineral yang mudah larut pada batuan dasar. Mineral dengan berat jenis tinggi akan tertinggal di permukaan sehingga mengalami pengkayaan residu seperti unsur Ca, Mg, dan Si. Mineral lain yang

bersifat *mobile* akan terlarutkan ke bawah dan membentuk suatu zona akumulasi dengan pengkayaan (supergen) seperti Ni, Mn, dan Co (Golightly, 1979).

Keberadaan endapan nikel laterit umumnya banyak tersebar pada daerah-daerah seperti di Provinsi Sulawesi Selatan dijumpai pada daerah Sorowako Kabupaten Luwu Timur. Selain itu, endapan nikel laterit juga dijumpai di daerah Sulawesi Tengah yaitu Kabupaten Morowali dan Kabupaten Luwuk Banggai, Sulawesi Tengah (Tonggiroh, et al., 2012) serta daerah Palangga, Sulawesi Tenggara (Lintjewas, dkk., 2019). Pada daerah Sorowako batas antara zona lateritisasi terlihat sangat jelas. Pada bagian atas dijumpai adanya *top soil* yang terdiri dari humus dan pepohonan. Bagian bawah *top soil* dijumpai adanya lapisan overburden dengan komposisi utama berupa Fe, Cr, Mn, dan Co. Bagian bawah overburden dijumpai adanya Zona Limonit dan Zona Saprolit dijumpai pada bagian bawah Zona Limonit sedangkan zona paling bawah berupa *bedrock* yang merupakan batuan segar yang belum mengalami proses pelapukan (Sufriadin, 2013).

PT. Vale Indonesia, Tbk. merupakan perusahaan tambang dan pengolahan nikel terintegrasi yang beroperasi di Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan. PT. Vale berdiri sejak 25 Juli 1968 dan beroperasi dalam naungan Kontrak Karya yang telah diamandemen pada 17 Oktober 2014 dan berlaku hingga 28 Desember 2025 dengan luas konsesi 118.017 hektar. Ini berarti luasan areal KK telah berkurang hingga hanya 1,8% dari luasan awal yang diberikan oleh Pemerintah Indonesia pada saat penandatanganan KK tahun 1968 seluas 6,6 juta hektar di bagian timur dan tenggara Sulawesi akibat serangkaian pelepasan areal KK.

Operasi bisnis PT Vale Indonesia Tbk terdiri dari penambangan dan pengolahan bijih. PT. Vale menambang dan mengolah nikel laterit untuk menghasilkan produk akhir berupa nikel dalam *matte*. Volume produksi nikel PT. Vale rata-rata mencapai 75.000 metrik ton per tahun. Produksi PT. Vale memasok 4% kebutuhan nikel dunia (PT. Vale Indonesia, 2017). Proses produksi berlangsung di fasilitas pengolahan di Sorowako.

Perseroan memiliki pabrik pengolahan mineral yang mampu memproduksi 240 ton nikel dalam *matte* setiap hari. Fasilitas pabrik pengolahan dilengkapi empat unit tanur listrik. Perseroan menghasilkan produk berupa nikel *matte*, yaitu produk antara yang digunakan dalam pembuatan nikel olahan dengan kandungan rata-rata 78% nikel, 1% - 2% kobalt, serta 20% - 21% sulfur. Seluruh produk nikel *matte* dikapalkan ke Jepang untuk proses pemurnian lebih lanjut (PT. Vale Indonesia, 2018).

Operasi penambangan pada PT. Vale menggunakan metode *open cast mining*. Namun pada prosesnya terdapat permasalahan seperti perbedaan kadar nikel laterit dari data hasil pengeboran dengan data hasil produksi penambangan. Perbedaan ini harus segera diidentifikasi dan dicarikan solusi, karena apabila hal ini dibiarkan maka ketidaksesuaian ini dapat terjadi berulang dan akan menyebabkan kerugian terhadap perusahaan. Selain itu kandungan kadar dari Ni laterit hasil penambangan menjadi salah satu permasalahan yang ada di PT. Vale Indonesia, dimana kadar Ni laterit tersebut tidak sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan oleh pabrik pengolahan. Akibatnya jika diteruskan akan mengancam kondisi *electric furnace* yang digunakan dalam proses pengolahan dan peleburan.

Berdasarkan informasi di atas, penelitian ini dilaksanakan khusus pada area Blok X, PT. Vale Indonesia, Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan dengan tujuan menganalisis perbandingan kadar dan korelasi dari nikel, besi, dan unsur lain pada data bor dengan data produksi penambangan serta bagaimana implikasinya terhadap pengolahan bijih.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah berapa kadar rata-rata dan korelasi antara kadar Nikel Laterit pada data titik bor dan data produksi penambangan daerah penelitian, faktor apa saja yang

menyebabkan terjadinya perbedaan kadar Nikel Laterit pada data titik bor dan data produksi penambangan daerah penelitian serta bagaimana implikasi kadar nikel laterit pada data produksi penambangan terhadap pengolahan bijih di PT. Vale Indonesia.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kadar rata-rata nikel laterit pada data bor dan data produksi penambangan serta korelasi antara unsur Ni dengan unsur Fe, Co, SiO<sub>2</sub> dan MgO.
2. Menganalisis faktor yang menyebabkan terjadinya perbedaan kadar nikel laterit antara data bor dan data produksi penambangan.
3. Mengetahui implikasi kadar bijih nikel laterit hasil penambangan terhadap proses pengolahan bijih.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber referensi bagi akademisi dan praktisi mengenai perbandingan dan korelasi kadar bijih nikel laterit berdasarkan data bor dan produksi penambangan pada area Blok X PT. Vale Indonesia. Selain itu penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas kegiatan penambangan pada perusahaan melalui rekomendasi-rekomendasi yang diberikan kepada *process plant division* maupun *mine engineer division* yang tergabung dalam *operational, planning and geotech department* PT. Vale Indonesia.

### **1.5 Tahapan Penelitian**

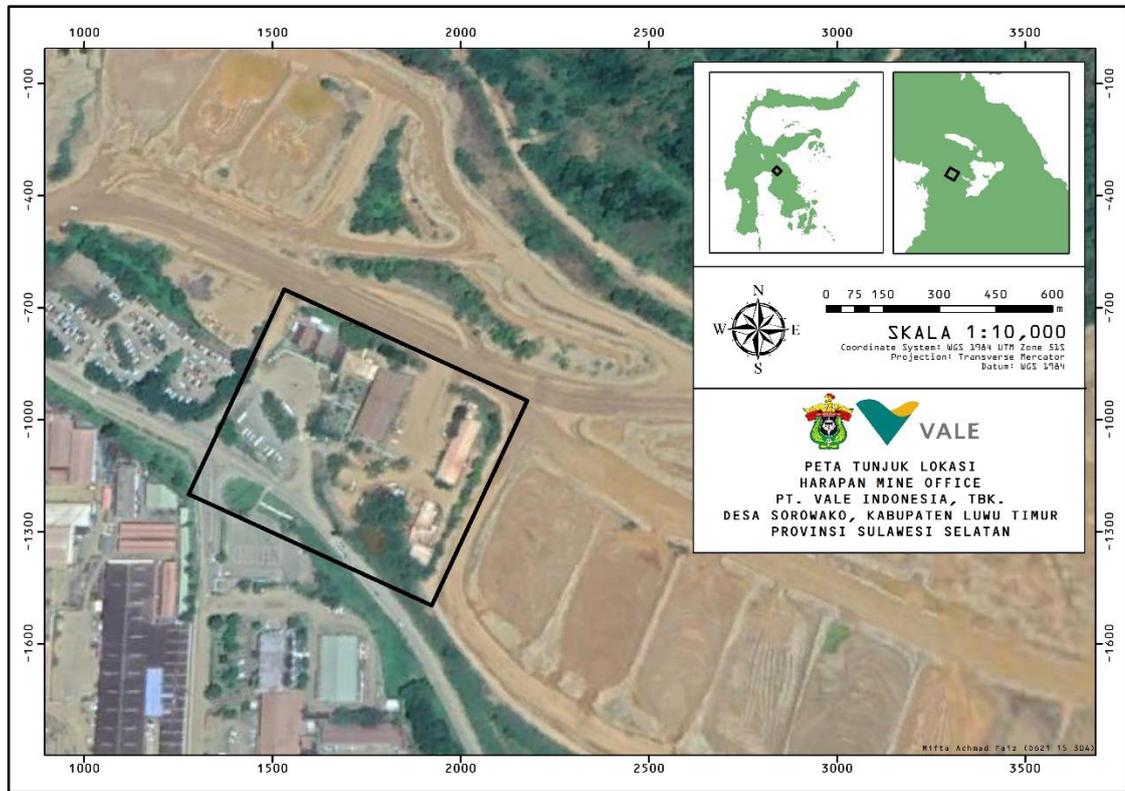
Penelitian ini dilaksanakan dengan empat tahapan, yaitu Tahap perencanaan, pengumpulan data, pengolahan data, dan penarikan kesimpulan. Berikut rinciannya.

1. Tahap perencanaan merupakan tahapan untuk merumuskan konsep penelitian. Konsep penelitian ini meliputi penentuan tema/topik penelitian, mengidentifikasi dan merumuskan masalah, melakukan penelitian pendahuluan dan konstruksi hipotesis, serta menyusun rencana penelitian. Rangkaian kegiatan pada tahap penelitian dilaksanakan setelah terdaftar di *laboratory based education*, dalam hal ini laboratorium analisis dan pengolahan bahan galian. Tahap ini telah menghasilkan proposal penelitian.
2. Tahap pengumpulan data merupakan tahapan pengambilan data yang dibutuhkan dalam melakukan penelitian serta hal-hal yang berkaitan dengan masalah yang akan diteliti.
3. Tahap pengolahan data terdiri dari perata-rataan data produksi penambangan, perata-rataan kadar pada data pengeboran, melakukan analisis perbandingan dan korelasi kadar bijih nikel laterit pada data produksi dan data bor, melakukan pengecekan implikasi kadar produksi penambangan terhadap pengolahan bijih nikel laterit serta pembuatan peta distribusi kadar Nikel, Besi dan S/M rasio pada daerah penelitian.
4. Tahap pembahasan dan diskusi serta penarikan kesimpulan. Langkah ini dilanjutkan dengan tahap penyusunan laporan, dilakukan dengan cara menuangkan seluruh hasil penelitian ke dalam laporan penelitian yaitu skripsi sesuai dengan format penulisan yang telah disepakati. Dalam penyusunan skripsi dilakukan konsultasi dan diskusi untuk menghasilkan karya ilmiah.

## **1.6 Lokasi dan Kesempaan Daerah Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Blok X, PT. Vale Indonesia Tbk yang berada di daerah Sorowako yang merupakan lokasi pertambangan *open cast* nikel laterit terbesar di Indonesia, serta penghasil utama dari *nickel ore/matte* untuk dikirim ke Jepang. Secara

administrasi Desa Sorowako berada di Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan dengan jarak 500 Km dari Kota Makassar (Ibu Kota Sulawesi Selatan) yang dapat ditempuh dengan kendaraan darat.



Gambar 1.1 Peta lokasi penelitian

Luas wilayah Sorowako dapat dibagi atas: luas wilayah daratan 808,27 Km<sup>2</sup> dan luas wilayah perairan 0,561 Km<sup>2</sup>. Batas administrasi Sorowako adalah sebagai berikut:

1. Sebelah utara berbatasan dengan Danau Matano, Kabupaten Poso dan Provinsi Sulawesi Tengah.
2. Sebelah barat berbatasan dengan Wasoponda, Kecamatan Bone-Bone dan Kabupaten Luwu Utara.
3. Sebelah selatan berbatasan dengan Wawondula, Kabupaten Kendari, Provinsi Sulawesi Tenggara dan Teluk Bone.
4. Sebelah timur berbatasan dengan Danau Mahalona dan Provinsi Sulawesi Tengah.

Sorowako secara geografis terletak di bagian selatan garis khatulistiwa yang terletak pada posisi 120°52' - 122°30' BT (Sua-sua s/d Torobulu) dan 1°50' - 5°30' LS (Kolonedale s/d Malapulu). Sorowako Berada di ketinggian ± 423.0624 mdpl. Kondisi topografi wilayah pusat Sorowako pada umumnya pegunungan dan berbukit. Sorowako dikelilingi oleh tiga buah danau yaitu Danau Matano, Danau Mahalona dan Danau Towuti. Ketiga danau tersebut dihubungkan oleh Sungai Larona dan bermuara di Malili yang merupakan Ibukota Kabupaten Luwu Timur.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Geologi Daerah Penelitian**

##### 2.1.1 Geologi Regional

Pulau Sulawesi terletak di Indonesia bagian tengah yang berada pada pertemuan tiga lempeng, yaitu lempeng indo-australia, lempeng pasifik, dan lempeng eurasia (Ilyas, et al., 2016). Pulau Sulawesi terletak di bagian tengah Kepulauan Indonesia, dimana terdiri dari empat sabuk litotektonik, yaitu (Maulana, et al., 2013):

1. Busur pluto-vulkanik dari selatan hingga utara lengan Pulau Sulawesi,
2. Sabuk metamorfik di bagian tengah, memanjang dari tengah ke tenggara,
3. Sabuk ofiolit di bagian timur-tenggara, dan
4. Banggai-Sula dan Tukang Besi *microcontinent*.

##### 2.1.2 Geologi Lokal

Geologi daerah Sorowako dan sekitarnya telah dideskripsikan sebelumnya dan dibagi menjadi tiga bagian, yaitu (Golightly, 1979):

1. Satuan batuan sedimen yang berumur kapur; terdiri dari batu gamping laut dalam dan rijang. Bagian Barat Sorowako dibatasi oleh sesar naik dengan kemiringan ke arah Barat.
2. Satuan batuan ultrabasa yang berumur awal tersier umumnya terdiri dari jenis Peridotit, sebagian mengalami serpentinisasi dengan derajat yang bervariasi dan umumnya terdapat di bagian timur. Satuan ini memiliki intrusi-intrusi pegmatit yang bersifat Gabroik dan terdapat di bagian utara.
3. Satuan aluvial dan sedimen danau (*lacustrine*) yang berumur Kuartar, umumnya terdapat di bagian utara dekat Desa Sorowako.

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 pelindihan (*leaching*) batuan ultrabasa seperti peridotit dan serpentin dari rombakan batuan ultrabasa. Penampang lapisan bijih laterit Nikel Daerah Sorowako dapat digambarkan sebagai berikut (Ahmad, 2006):

1. Lapisan Tanah Penutup (*Overburden*)

Lapisan Tanah penutup terletak di bagian atas permukaan. Kondisi fisik lunak dan memiliki warna coklat kemerahan hingga gelap dengan kadar air antara 25% sampai 35%, kadar Nikel kecil 1,3% mempunyai ketebalan berkisar antara 1 - 12 meter.

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

Lapisan Limonit berkadar menengah terletak di bawah lapisan tanah penutup. Lapisan ini memiliki warna kuning kecoklatan, agak lunak, berkadar air antara 30% - 40%, kadar Nikel 1,5%, Fe 44%, MgO 3%, SiO<sub>2</sub> 2%. Lapisan ini mempunyai ketebalan rata-rata 3 meter.

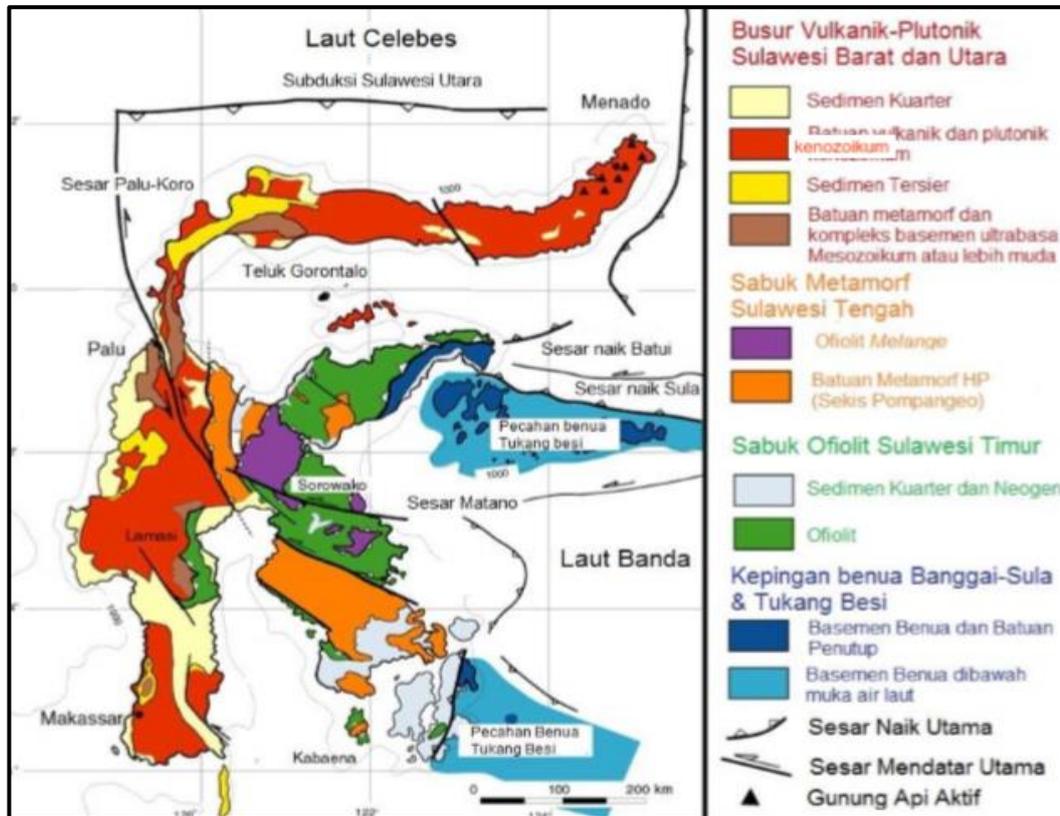
3. Lapisan Bijih (*Ore*)

Lapisan Bijih merupakan hasil pelapukan batuan peridotite. Lapisan ini memiliki warna kuning kecoklatan agak kemerahan. Lapisan Bijih terletak di bagian bawah dari *Medium Grade Limonit*, dengan ketebalan rata-rata 7 meter. Lapisan Bijih terdapat bersama batuan yang keras atau rapuh sebagian saprolit. Kadar Ni 1,85%, Fe 16%, MgO 25%, SiO<sub>2</sub> 35%. Lapisan Bijih merupakan lapisan yang bernilai ekonomis untuk ditambang sebagai bijih.

4. Lapisan Batuan Dasar (*Bedrock/Blue Zone*)

Lapisan ini merupakan batuan peridotit yang tidak atau belum mengalami pelapukan dengan kadar Ni 1,3%. Batuan *bedrock* pada umumnya merupakan bongkah-bongkah massif yang memiliki warna kuning pucat sampai abu-abu

kehijauan. Secara lokal batuan dasar ini disebut *Blue Zone*. Ketebalan dari masing-masing lapisan tidak merata hal tersebut tergantung dari relief.



Gambar 2.1 Geologi regional daerah Pulau Sulawesi (Kadariusman, et al ., 2004)

Sejarah tektonik dan geomorfik di kompleks ini sangat penting untuk pembentukan Ni laterit yang bernilai ekonomis (Golightly, 1979). Daerah Sorowako sebagian besar disusun oleh batuan ultramafik yang membentang hingga 10.000 km<sup>2</sup> di bagian timur Sulawesi serta merupakan host dari endapan Ni laterit (Suratman, 2000).

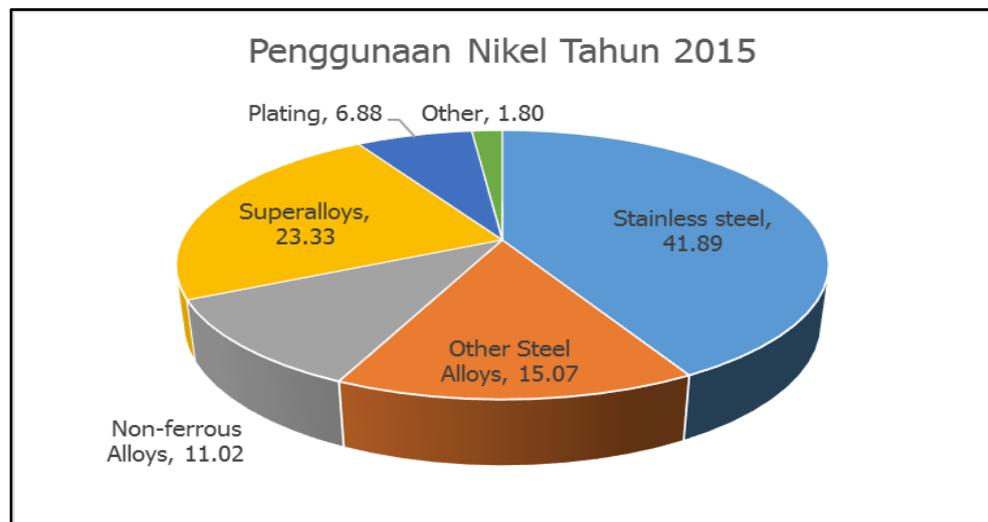
Berdasarkan perbedaan *boulder*, penambangan bijih Nikel oleh PT Vale Indonesia Tbk di Sorowako terbagi atas empat daerah penambangan, yaitu Blok Barat, Blok Timur, Petea di Sorowako, Sulawesi Selatan dan Bahodopi di Morowali, Sulawesi Tengah (PT. Vale Indonesia, 2017). Blok X yang merupakan daerah penelitian terletak pada daerah Petea dengan ketebalan *overburden* rata-rata 5 m memiliki kandungan Nikel rendah 1.2%. Lapisan *Incremental Limonit Saprolit* dengan ketebalan rata-rata 3.1 m, kandungan Nikel 1,4%. Lapisan *Limonit Ore* dengan ketebalan rata-rata 2,5 m dengan

kandungan Ni 1,93%. Lapisan Saprolit *Ore* dengan kandungan Nikel 1,81 % dan tebal rata-rata 7 m.

## 2.2 Nikel dan Besi

### 2.2.1 Nikel

Nikel merupakan unsur kimia logam dengan nomor atom 28 dan berat atom 58,6934. Nikel merupakan logam fasa padat dengan massa jenis sekitar 8,902 g/cm<sup>3</sup> pada suhu 19,85°C serta konduktivitas elektrik sebesar 22%. Titik lebur nikel berada pada suhu 1453°C dan setelah melebur akan berubah menjadi fasa cair dengan titik didih sebesar 2732°C. Struktur kristal dari mineral nikel adalah kubus berpusat muka dengan kekerasan 3,8 Mohs (Mcrae, 2018).



Gambar 2.2 Penggunaan nikel Amerika Serikat di luar nikel daur ulang tahun 2015 (Mcrae, 2018)

Nikel merupakan salah satu logam utama industri yang paling serbaguna dan penting (Davis, 2000). Nikel banyak digunakan dalam ratusan ribu produk untuk konsumen, industri, militer, transportasi, luar angkasa, laut dan aplikasi arsitektur. Sifat fisik dan kimianya yang luar biasa membuat nikel sangat penting dalam banyak produk

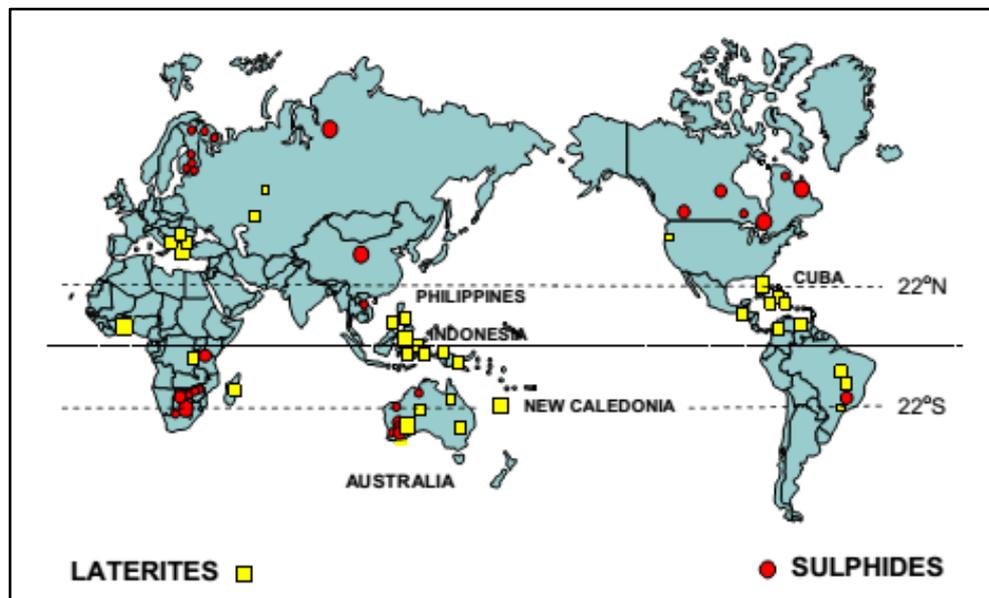
akhir. Sifat fisik dan kimia unik nikel adalah memiliki titik lebur yang tinggi, tahan akan korosi dan oksidasi, *tenacity very ductile*, magnetis di suhu ruangan, dapat disimpan dengan *electroplating*, bisa jadi katalis dalam reaksi kimia, serta dapat didaur ulang (*The Life of NI*, 2016).

Bijih nikel digolongkan dalam dua jenis, yaitu nikel sulfida berada dibelahan bumi sub tropis seperti di Rusia, Canada, dan nikel oksida yang lazim disebut laterit berada dibelahan bumi khatulistiwa seperti di Indonesia, Philipina, Kaledonia Baru, dan Cuba. Menurut Bide, et al. (2008) mineral utama yang mengandung nikel di laterit adalah Garnierit dan *nickeliferous limonite*.

Diperkirakan bahwa sekitar 70% dari sumber daya nikel dunia terkandung dalam bijih laterit, namun laterit hanya menyumbang sekitar 50% dari produksi nikel tahunan dunia pada tahun 2009. Ni umumnya akan dianggap sebagai sumber daya yang terbatas sehingga dengan kegiatan penambangan maka diperkirakan sumber daya ini bias habis. Penggunaan teknologi, kebijakan dan program yang tepat dalam pengelolaan sumber daya, Ni bisa dengan mudah didaur ulang sehingga, sumber daya bisa digunakan dengan efektif. Isu-isu utama dalam proses daur ulang yaitu kebutuhan energi, dampak lingkungan dan biaya ekonomi (Mudd, 2010).

Nikel merupakan logam yang penting dalam infrastruktur dan teknologi, dengan penggunaan utama dalam baja tahan karat sebesar 58%, *nickle alloy* sebesar 14%, *casting* dan *alloy steel* sebesar 9%, *electroplating* sebesar 9% dan baterai yang dapat diisi ulang sebesar 5%. Sumber daya ekonomi Ni ditemukan baik dalam jenis bijih sulfida maupun jenis bijih laterit. Sebagian besar produksi Ni berasal bijih sulfida, sementara sebagian besar sumber daya Ni diketahui terkandung dalam bijih laterit. Pemenuhan permintaan untuk Ni mengalami peningkatan, sehingga mengakibatkan peningkatan jumlah Ni yang ditambang dari bijih laterit (Mudd, 2010).

Nikel terdapat pada dua tipe endapan yang berbeda yaitu endapan nikel sulfida dan endapan nikel laterit. Endapan nikel sulfida masuk ke dalam kelas endapan magma mafik dengan 4 sub tipe endapan yaitu *Sudbury*, *Flood basalt association*, *Ultramafic volcanic association*, dan *Other mafic and ultramafic intrusive associations*. Endapan nikel laterit masuk ke dalam kelas bijih terkait pelapukan dengan tipe laterit serta sub tipe nikel (kobalt) laterit (Darling, 2011). Persebaran endapan nikel untuk kedua tipe dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 2.3 Persebaran endapan nikel di dunia (Elias, 2002)

Persebaran endapan nikel dunia didominasi oleh negara-negara di sekitar equator. Persebaran endapan nikel di benua Eropa didominasi oleh endapan nikel sulfida. Persebaran endapan nikel di benua Afrika didominasi oleh endapan nikel sulfida. Persebaran endapan nikel di benua Asia didominasi oleh endapan nikel laterit tepatnya di Negara Indonesia dan Philipina. Persebaran endapan nikel di Benua Amerika didominasi oleh endapan nikel laterit. Persebaran endapan nikel di Benua Australia dan Oceania didominasi oleh endapan nikel laterit (Elias, 2002).

### 2.2.2 Besi

Besi merupakan unsur kimia logam dengan nomor atom 26. Besi merupakan logam fasa padat dengan massa jenis sekitar  $7,86 \text{ g/cm}^3$  dan titik lebur  $1538^\circ\text{C}$ . Besi yang telah melebur akan berubah menjadi fasa cair memiliki titik didih sebesar  $2861^\circ\text{C}$ . Besi diklasifikasikan sebagai logam strategis dan kritikal karena penggunaannya dalam industri pertahanan dan ketergantungan negara-negara industri terhadap import besi. Cadangan global besi yang digunakan di masyarakat adalah 2.200 kg (4.850 lb) per kapita. Sebagian besar adalah negara maju (7.000 kg (15.432 lb) – 14.000 kg (30.865 lb) per kapita) sedangkan negara yang kurang berkembang hanya 2.000 kg (4.409 lb) per kapita (Ishlah, 2009).

Besi adalah logam yang paling banyak digunakan, mencakup 92% dari produksi logam dunia. Biayanya yang rendah dan kekuatannya yang tinggi membuatnya sangat diperlukan dalam aplikasi teknik seperti pembangunan mesin dan peralatan mesin, mobil, lambung kapal-kapal besar, dan komponen struktur bangunan. Karena besi murni cukup lunak, hal ini paling sering dikombinasikan dengan unsur paduan untuk membuat baja (Camp & Francis, 1920).

Besi yang tersedia untuk komersial diklasifikasikan berdasarkan kemurnian dan kandungan aditifnya. *Pig iron* memiliki 3,5 – 4,5% karbon dan mengandung berbagai jumlah kontaminan seperti belerang, silikon dan fosfor. *Pig iron* bukan produk komersial, melainkan tahap antara dalam produksi besi tuang dan baja. Pengurangan kontaminan dalam *pig iron* yang berpengaruh negatif kepada sifat materi, seperti belerang dan fosfor, menghasilkan besi tuang yang mengandung 2 – 4% karbon, 1 – 6% silikon, dan sejumlah kecil mangan (Beukes, et al., 2003).

## 2.3 Nikel Laterit

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

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

### 2.3.1 Pembentukan Endapan Nikel Laterit

Sebagian besar sumber nikel laterit terbentuk sekitar 22 derajat garis lintang di kedua sisi khatulistiwa dan dalam beberapa kasus dengan kadar tinggi, endapan terkonsentrasi di zona aktif lempeng tektonik (misalnya Indonesia, Filipina dan Kaledonia Baru) di mana produk-produk yang luas terkena cuaca kimia yang agresif dalam kondisi tropis dengan curah hujan tinggi dan suhu yang hangat, dan ada kesempatan besar untuk terjadinya pengayaan supergen. Sumber daya dalam pengaturan cratonik bisa

besar tetapi cenderung lebih rendah dalam kelas (misalnya Murrin Murrin di Australia Barat). *Cratonic shield deposits* di Afrika Barat dan Brazil berada dalam zona khatulistiwa, tetapi mereka di Balkan (Yunani, Albania dan bekas Yugoslavia) dan Yilgarn *craton* di Australia Barat terjadi di lintang yang lebih tinggi.

Proses laterisasi berawal dari infiltrasi air hujan yang bersifat asam yang masuk ke dalam zone retakan, kemudian melarutkan mineral-mineral yang mudah larut pada batuan dasar. Mineral dengan berat jenis yang tinggi akan tertinggal di permukaan membentuk pengkayaan residual, sedangkan mineral yang mudah larut akan turun ke bawah membentuk zona akumulasi dengan pengayaan supergen (Asy'ari *et al.*, 2013).

Proses terbentuknya bijih nikel laterit dimulai dari adanya pelapukan yang intesif pada peridotit (batuan induk). Batuan induk ini akan berubah menjadi serpentin akibat pengaruh larutan hidrotermal atau larutan residual pada waktu proses pembekuan magma (proses serpentinisasi) dan akan merubah batuan peridotit menjadi batuan Serpentin. Kemudian kembali terjadi pelapukan (fisika dan kimia) menyebabkan disintegrasi dan dekomposisi pada batuan induk. Adapun menurut Golightly (1981), sebagian unsur Ca, Mg, dan Si akan mengalami dekomposisi, dan beberapa terkayakan secara supergen (Ni, Mn, Co, Zn), atau terkayakan secara relatif (Fe, Cr, Al, Ti, S, dan Cu).

Tabel 2.1 Klasifikasi *mobile element* pada endapan Ni-Laterit (Trescases, 1975)

Unsur	Mobilitas	Kategori
Fe <sup>+3</sup>	-18,1	Terkayakan secara residual
Cr <sup>+3</sup>	-16,4	
Al <sup>+2</sup>	-15,3	
Cu <sup>+2</sup>	-5,7	
Ni <sup>+2</sup>	-3,2	Terkayakan secara supergen
Co <sup>+2</sup>	-1,7	
Zn <sup>+2</sup>	-1,5	
Mn <sup>+2</sup>	1,3	
Mg <sup>+2</sup>	3,1	Terlindungi

### 2.3.2 Klasifikasi Endapan Nikel Laterit

Berdasarkan zonasinya, endapan nikel laterit terbagi menjadi tiga, yaitu (Elias, 2002):

ZONA ENDAPAN NIKEL LATERIT	0,3 – 6 m	ZONA <i>OVERBURDEN</i>
	8 – 15 m	ZONA LIMONIT
	5 – 18 m	ZONA SAPROLIT
	○. Besi 5 – 10 % Silika >35 %	ZONA <i>BEDROCK</i>

Gambar 2.4 Sketsa zona endapan nikel laterit (Elias, 2002)

#### 1. Zona Tanah penutup (*Overburden*)

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

#### 2. Zona Limonit

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

mineral di batuan beku basa sampai ultrabasa telah berubah menjadi serpentin akibat hasil dari pelapukan yang belum tuntas.

### 3. Zona Saprolit

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

### 4. Zona Batuan Dasar (*Bedrock*)

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

Berdasarkan komposisi mineraloginya, bijih laterit nikel dapat dibagi menjadi tiga kelompok yaitu (Brand et al., 1998; Gleeson et al., 2003):

Tabel 2.2 Klasifikasi endapan Ni-Laterit berdasarkan mineralogi (Brand et al., 1998; Gleeson et al., 2003)

<b>Nama</b>	<b>Kadar Ni</b>	<b>Mineralogi</b>
<i>Hydrous Silicate</i>	1,8 – 2,5 %	<i>Hydrous Mg-Ni silicate</i>
<i>Clay Silicate</i>	1,0 – 1,5 %	<i>Ni-rich smectite</i>
<i>Oxide</i>	1,0 – 1,6 %	<i>Iron oxyhydroxides</i>

a. *Hydrous silicate deposit*

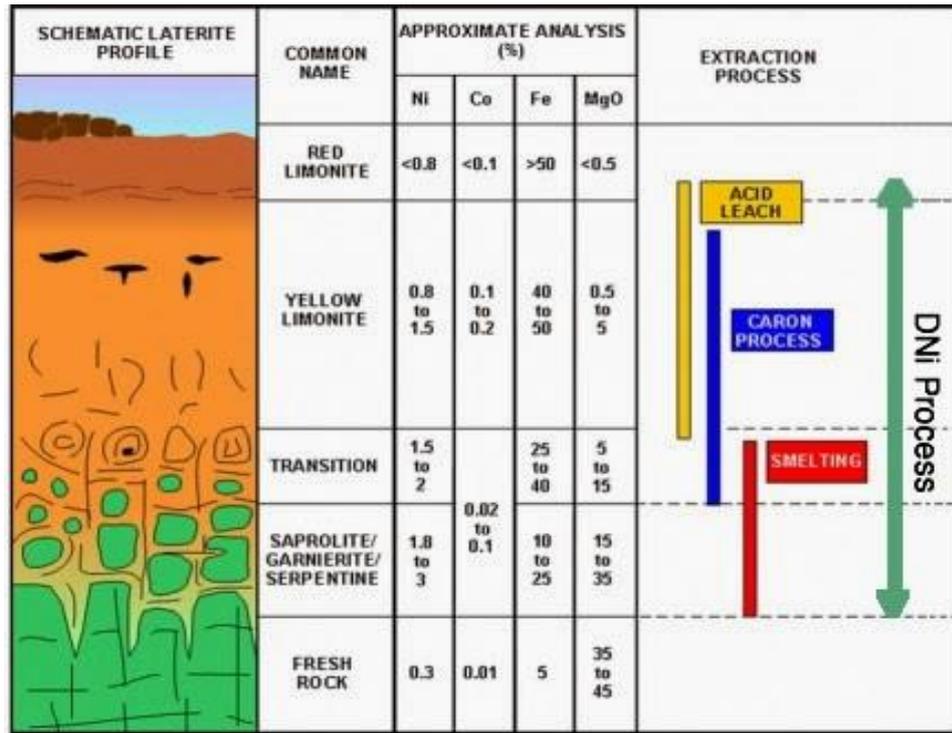
Endapan tipe *hydrous silicate* yang terletak pada bagian bawah zona saprolit (horizon bijih) didominasi oleh mineral-mineral hidrous Mg-Ni silikat (gambar 1). Setempat pada zona saprolit, urat-urat halus dan *box-works* dapat terbentuk. Rekahan dan batas-batas antarbutir dapat terisi oleh mineral silikat dan mineral-mineral yang kaya dengan nikel. Sebagai contoh garnierit dapat memiliki kandungan nikel sampai dengan 40 %. Nikel akan mengalami proses pelindian dan limonit pada fase *Fe-oxyhydroxide* akan bergerak turun ke bawah seperti yang terlihat pada gambar 2.5.

b. *Clay silicate deposit*

Silikon (Si) dari profil laterit, hanya sebagian yang terlindungi oleh air tanah. Silikon yang tersisa bersama-sama dengan Fe, Ni, dan Al membentuk mineral lempung seperti *Ni-rich nontronite* pada bagian tengah sampai dengan bagian atas zone saprolit. Serpentin yang kaya dengan nikel juga bisa digantikan (teralterasi) oleh smektit pada bagian yang kontak dengan air tanah sehingga larutan-larutan yang terbentuk menjadi jenuh dengan mineral-mineral lempung ini. Secara umum, kadar nikel rata-rata pada tipe endapan ini lebih rendah dibandingkan dengan tipe *hydrous silikat*.

c. *Oxides deposite*

*Oxide deposite* dikenal juga dengan nama endapan limonit, dimana nikel berasosiasi dengan *Fe-oxyhydroxide*, dengan mineral utama Goetit. Kadang-kadang juga kaya dengan oksida Mn yang kaya dengan Co. Kadar Ni rata-rata pada tipe endapan ini lebih rendah 1.2%, sehingga memiliki nilai ekonomis yang kurang baik dibandingkan dengan dua tipe endapan nikel laterit sebelumnya.



Gambar 2.5 Generalisasi penampang laterit nikel dan zona bijih yang berkembang di atas batuan ultramafik pada wilayah tropis serta opsi proses ekstraksinya (Brand et, al., 1998)

## 2.4 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 2.5. 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 hidrometalurgi dan hidrometalurgi dapat mengolah bijih nikel laterit dari zona limonit dan saprolit.

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).

#### 2.4.1 Pirometalurgi

Metode ekstraksi Pirometalurgi melibatkan beberapa proses seperti: *roasting*, pengurangan karbothermik, reduksi bijih sulfida, dan reduksi *metallothermic*. Pemilihan proses yang akan digunakan terutama tergantung pada komposisi bijih atau konsentrat dan termodinamika, kinetik, dan kendala lingkungan yang terkait dengan setiap proses.

Proses pirometalurgi merupakan bagian integral dari proses produksi Nikel dengan persentase 90% dari produksi tahunan Nikel di dunia dengan produk akhir Ferronikel atau nikel matte (Diaz, et al. 1988). Produksi *ferronickel* dari bijih laterit memerlukan energi tinggi, karena bijih laterit atau bijih pra-reduksi umumnya langsung dilebur untuk menghasilkan sejumlah kecil produk *ferronickel* dan sejumlah besar *slag*. Selain itu area dimana deposit itu berada mempunyai akses yang sulit terjangkau sehingga pasokan listrik untuk proses merupakan suatu tantangan tersendiri. Tidak seperti bijih nikel sulfida, bijih nikel laterit tidak dapat di *upgrade* dengan penghalusan (*grinding*) dan metode lain yang bersifat fisik benefisiasi (Norgate). 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):

1. *Rotary Kiln Electric furnace (RKEF)*

Proses RKEF banyak digunakan untuk menghasilkan feronikel dan nikel-matte. Proses ini diawali dengan pengeringan kandungan *moisture* hingga 45% melalui proses *pretreatment*.

Pada proses tersebut, bijih laterit dikeringkan dengan *rotary dryer* pada temperatur 250°C hingga kandungan *moisture*-nya mencapai 15-20%. Produk dari *rotary dryer* selanjutnya masuk ke tahap kalsinasi (prereduksi) menggunakan rotary kiln pada suhu 800-900°C. Adapun 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, terjadi reduksi nikel oksida dan besi oksida kalsin menjadi nikel logam, dan pelelehan dan pelarutan nikel dalam feronikel. Proses ini yang paling umum digunakan dalam industri pirometalurgi nikel saat ini karena tahapan proses dianggap lebih sederhana dan dapat diaplikasikan terhadap bijih dari berbagai lokasi. Walaupun pada kenyataannya konsumsi energi sangat tinggi dan hanya lebih rendah dari proses Caron.

2. *Nippon Yakin Oheyama Process*

*Nippon Yakin Oheyama Process* merupakan proses reduksi langsung *garnierite ore* yang menghasilkan feronikel dalam suatu *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 feronikel 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. Proses ini mempunyai energi yang relatif rendah dibandingkan dengan pembuatan feronikel menggunakan ELKEM proses karena tidak dibutuhkan energi yang tinggi pada proses pemisahan feronikel dari pengotornya. Beberapa hal yang kritis dari proses ini yaitu masalah kontrol *moisture* briket yang sangat ketat karena menentukan reduksibilitas dan penggunaan antrasit yang relatif mahal dan kemungkinan ketersediannya semakin menurun.

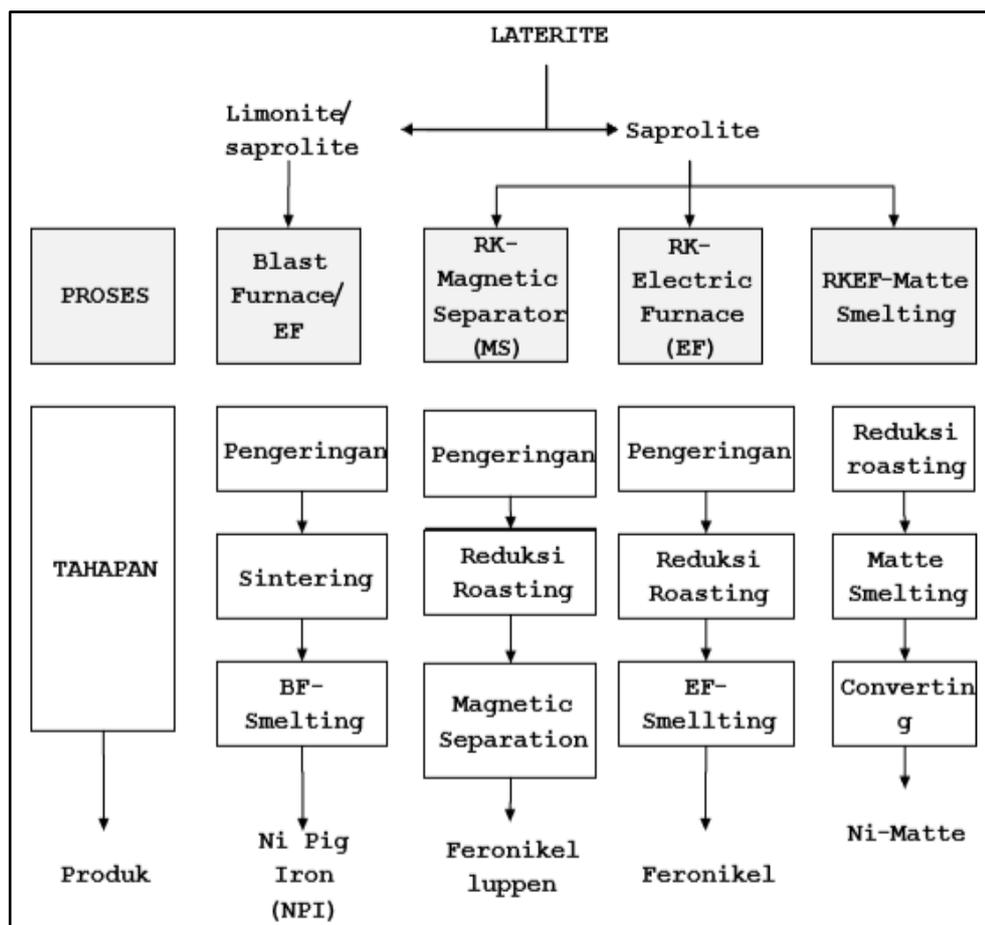
### 3. *Nickel Pig Iron (NIP)*

*Nickel Pig Iron* diproduksi di China mulai tahun 2006 untuk menjawab tingginya harga dan permintaan nikel. *Nickel Pig Iron (NPI)* merupakan *ferronickel* 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. Pada proses ini juga ditambahkan bahan imbuhan berupa *limestone* untuk mengatasi temperatur leleh terak tinggi akibat rendahnya kandungan FeO dan tingginya kadar silika dan magnesia di dalam terak. NPI ini disebut sebagai "*dirty nickel*" karena akan menghasilkan *slag* yang banyak, konsumsi energi yang

tinggi, polusi lingkungan dan menghasilkan produk dengan kualitas rendah. Tetapi bagaimanapun produksi NPI akan tetap menjadi sesuatu yang ekonomis selama harga nikel relatif tinggi. Proses produksi NPI yang lain yaitu menggunakan *electric furnace*. Dengan peningkatan kualitas EF maka proses ini diyakini mempunyai efisiensi energi yang lebih tinggi dari proses *blast furnace*. Sehingga pada prakteknya dalam 10 tahun terakhir pembuatan NPI meningkat signifikan terutama di China dan Indonesia. Kelebihan utama dalam proses ini yaitu dapat mengolah bijih kadar rendah yang sulit dilakukan dengan proses pirometalurgi lain.

Dari proses-proses tersebut diatas dapat dibuat suatu ringkasan tahapan proses utama ekstraksi nikel secara pirometalurgi, yaitu (Zhu, et al., 2012):

1. Pengeringan (*drying*) yaitu eliminasi sebagian besar air bebas yang terdapat dalam bijih,
2. Kalsinasi-reduksi yaitu eliminasi air bebas yang tersisa dan eliminasi air kristal, pemanasan awal bijih dan reduksi sebagian besar unsur nikel dan pengontrolan terhadap reduksi besi,
3. *Electric furnace smelting* yaitu reduksi nikel yang tersisa dan pemisahan feronikel dari hasil sampingnya yaitu slag besi magnesium silikat,
4. *Refining* yaitu eliminasi unsur minor yang tidak dikehendaki dari produk ferronikel untuk dapat memenuhi kebutuhan pasar.



Gambar 2.6 Diagram alir sederhana ekstraksi Ni-Laterit dengan metode pirometalurgi (Setiawan, 2016)

#### 2.4.2 Hidrometalurgi

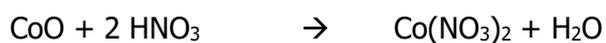
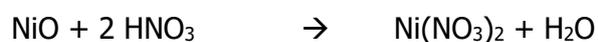
Ekstraksi Hidrometalurgi terdiri dari beberapa proses utama yaitu *leaching*, pemurnian dan pemulihan logam (Cui & Anderson, 2016). Hidrometalurgi laterit terutama didasarkan pada leaching limonit atau smektit bijih. Proses Hidrometalurgi terdiri dari tiga metode yaitu *tank leaching*, *heap leaching*, dan *high pressure acid leaching* (Crundwell *et al.*, 2011).

“Hidro” berarti air dan “hidrometalurgi” oleh karenanya berarti seni dan ilmu pengetahuan dari ekstraksi logam dari bijihnya dengan metode basah. Ini merupakan subjek yang relatif baru bila dibandingkan dengan pirometalurgi – seni kuno dari produksi logam. Manusia telah mempelajari dari ribuan tahun yang lalu bagaimana

membuat perapian dan menggunakan api untuk melelehkan batu dan memproduksi logam tetapi penggunaan air dan larutan berair untuk pengolahan bijih datang belakangan; terutama pada saat alkemis ketika asam dan alkali diketahui dan digunakan (Kursunoglu & Kaya, 2016).

Dalam proses hidrometalurgi, ada tiga metode yang biasanya digunakan yaitu *atmospheric leaching*, *heap leaching* dan *high pressure acid leaching* (HPAL). *Tank leaching* menggunakan pengaduk dan reagen untuk memulai reaksi. Limpahan mengarah suspensi ke tangki lain, di mana *pregnant solution* dan pengotornya dipisahkan oleh proses pemisahan padat/cair. *Heap leaching* adalah proses yang sangat lambat, di mana asam tersebar setetes demi setetes di atas tumpukan, perlahan-lahan mengalir ke bawah. Selama waktu reaksi ini, asam yang digunakan bereaksi dengan mineral (Stopić & Friedrich, 2016).

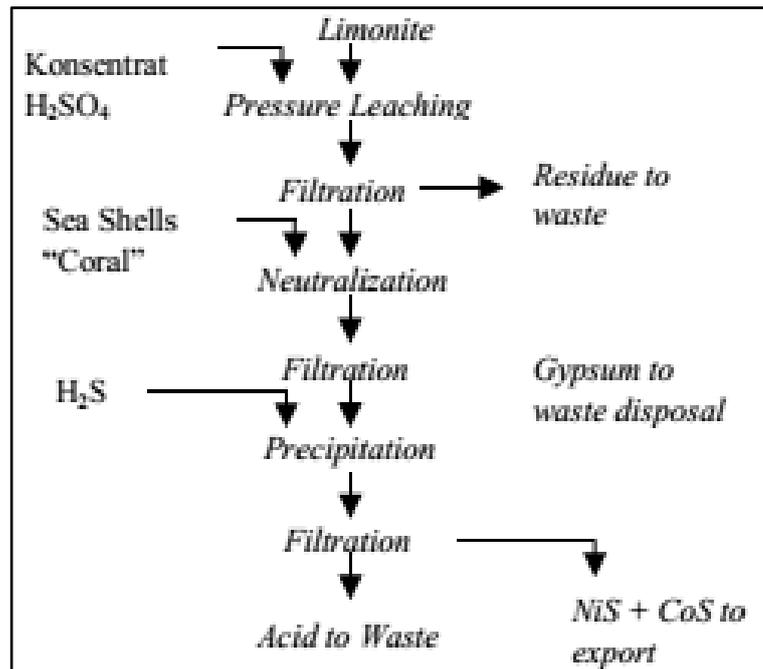
*Atmospheric acid leaching* merupakan metode yang digunakan mengekstraksi nikel dari bijih nikel laterit kadar rendah dalam tekanan atmosfer. Asam yang umum digunakan dalam proses ini adalah asam sulfat. Asam nitrat juga dapat digunakan untuk proses *atmospheric leaching* seperti yang dilakukan oleh CSIRO di Australia Barat karena lebih mudah didaur ulang (Kursunoglu & Kaya, 2016). Reaksi yang terjadi ketika proses *atmospheric leaching* menggunakan asam nitrat ketika mengekstrak bijih laterit seperti terlihat di bawah (Sheikh *et al*, 2013).



Proses HPAL dapat dikatakan lebih tepat sebagai proses pelarutan dan hidrolisa daripada sebagai proses pelindian. Reaksi pelindian menggunakan asam sulfat dapat dilihat seperti di bawah (Stopić & Friedrich, 2016):



Proses ini dilakukan dalam kondisi pelindian dengan menggunakan konsentrasi larutan asam yang tinggi serta temperatur dan tekanan yang juga tinggi. Hasil dari proses pelindian selain Ni dan Co terdapat juga besi, aluminum, silika, dan kromium yang terbentuk dalam bentuk padatan, walaupun dalam jumlah kecil dalam larutan namun menambah kompleksitas pengolahan (Kyle, 2010). Berikut merupakan diagram alir pengolahan bijih nikel laterit dengan metode HPAL.



Gambar 2.7 Bagan alir pengolahan limonit dengan proses HPAL di Moa Bay (Kursunoglu & Kaya, 2016).

#### 2.4.3 Pengolahan Bijih Nikel Laterit pada PT. Vale Indonesia

Pengolahan bijih nikel laterit pada PT. Vale Indonesia menggunakan proses pirometalurgi (PT. Vale Indonesia, 2018). Beberapa variasi proses dilakukan untuk memenuhi kebutuhan pasar. Variasi pertama yaitu pengembangan dari proses produksi besi, pada tahap kalsinasi-reduksi diberikan temperatur yang cukup untuk melelehkan sebagian dari kalsin dan meningkatkan ukurannya menjadi suatu butiran feronikel. Pasta kalsin yang terbentuk selanjutnya didinginkan secara langsung dengan air (*water quencing*) dan dipisahkan secara magnetik. Produk akhir yang terbentuk yaitu butiran

*ferronickel* yang disebut luppen (proses yang dilakukan *Nippon Yakin Jepang*). Variasi kedua yaitu penambahan sulfur pada kalsin diikuti *converting* menjadi produk yang mempunyai kadar besi rendah yaitu produk nikel *matte* (proses yang dilakukan PT. Inco/Vale Indonesia dan SLN-Eramet). Berikut merupakan target spesifikasi kadar bijih (*feed*) yang ditambang pada blok *east* dan *west*.

Tabel 2.3 Spesifikasi Target Kadar Bijih pada Blok *East* dan *West*

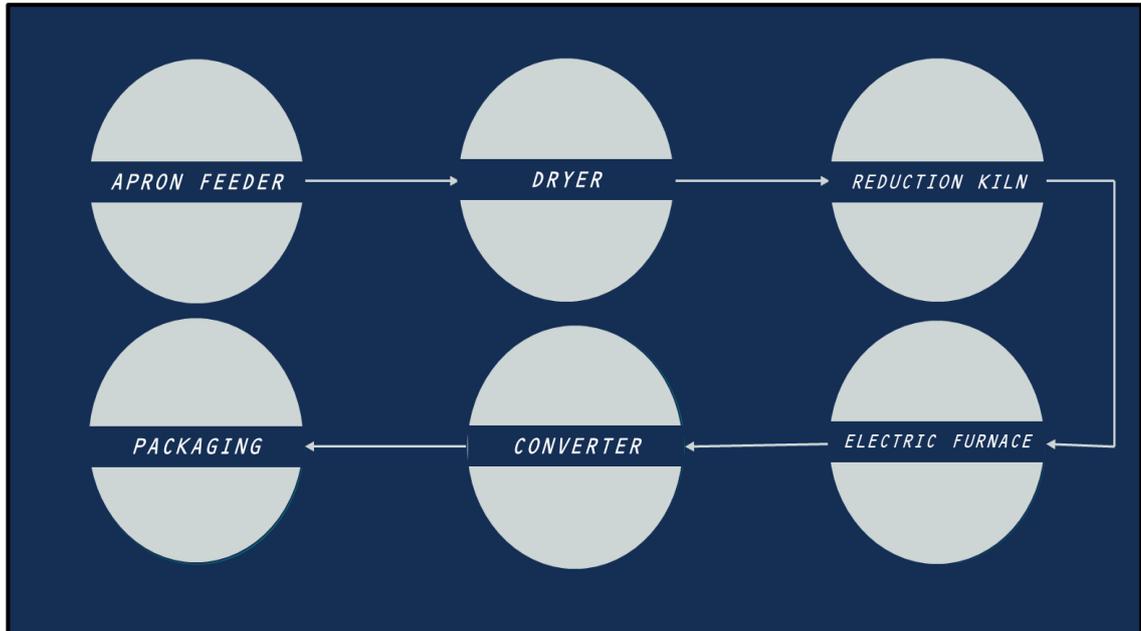
Blok	Fe (%)	S/M Ratio	Keterangan
<i>East</i>	> 20	> 1,80	Di atas spesifikasi
	16 – 20	1,55 – 1,80	Sesuai spesifikasi
	< 16	< 1,55	Di bawah spesifikasi
<i>West</i>	> 25	> 2,70	Di atas spesifikasi
	20 – 25	2,40 – 2,70	Sesuai spesifikasi
	< 20	< 2,40	Di bawah spesifikasi

Spesifikasi ini yang digunakan sebagai target dalam proses penambangan. Kemudian akan dilakukan *blending* bijih antara blok *east* dan *west* untuk menghasilkan spesifikasi kadar Nikel Laterit pada pabrik pengolahan, yaitu Ni (>1,5%), Fe (20 – 23%), dan rasio S/M (1,95 – 2,15).

Pengolahan pirometalurgi terhadap bijih dengan rasio SiO<sub>2</sub>/MgO 1,8-2,2 lebih baik menghasilkan *nickel – matte*. Pengolahan pirometalurgi terhadap bijih dengan rasio SiO<sub>2</sub>/MgO <2 atau >2,5 lebih baik menghasilkan *ferronickel*. Bijih dengan rasio SiO<sub>2</sub>/MgO 2,3 – 2,5 bersifat korosif dan mengakibatkan temperatur yang tinggi pada *furnace* dan konsumsi energi yang lebih banyak sehingga harus dilakukan *blending* atau *fluxing* sebelum di *smelter*. Perubahan rasio SiO<sub>2</sub>/MgO memiliki peran yang sangat penting untuk mengontrol titik leleh dan kekentalan *slag*, serta merupakan faktor yang sangat

penting untuk dipertimbangkan dalam penggunaan *electrical furnace* (Villanova-de-Benavent, et al., 2014 dalam Husain et al., 2018).

Berikut merupakan tahapan pengolahan bijih nikel laterit pada PT. Vale Indonesia (Superiadi, 2006; PT. Vale Indonesia, 2018):



Gambar 2.8 Tahapan pengolahan bijih Ni-Laterit PTVI (PT. Vale Indonesia, 2018)

1. *Apron Feeder*

*Ore* dari *wet ore stockpile (WOS)* dibawa untuk proses penyaringan dan pengaturan beban sebelum diangkat ke *dryer* untuk dikurangi kadar air dan kelembapannya.

2. *Dryer*

*Dryer* atau tanur pengering adalah tempat penguapan sebagian kandungan air dari bijih basah. *Dryer* ini bertujuan pula untuk menurunkan kelembapan awal bijih yang berkisar antara 34 – 38% ke 20 – 22%. Bijih dari blok *east* yang berukuran 6 inci dikurangi ukurannya hingga 2 inci. Bijih dari blok *west* yang berukuran 2 – 4 inci disaring menggunakan saringan dengan ukuran 1 inci. Bijih dari blok *east* dan *west* disimpan terpisah di dalam *dry ore storage*.

3. *Reduction Kiln*

Hasil *blending* antara bijih dari blok *east* dan *west* selanjutnya dibawa ke *reduction kiln*. Pada zona pertama, bijih yang masih memiliki kelembapan 20 – 22% dikeringkan. Pada zona kedua air kristal dieliminasi dari bijih tersebut dan pada zona ketiga proses reduksi nikel oksida (NiO) terjadi dan menghasilkan nikel logam. Hasil akhir dari proses ini disebut kalsin (*calcine*) yang memiliki suhu sekitar 700°C.

4. *Electric Furnace*

Kalsin yang merupakan hasil akhir dari *reduction kiln* kemudian dikeringkan kembali hingga kadar air yang tersisa hilang. Pada proses ini kalsin dilebur menghasilkan *matte* dan *slag*. Lalu *slag* dengan suhu sekitar 1500°C dikeruk agar tidak menempel pada dinding *furnace* dan dibawa ke *disposal*. *Matte* hasil peleburan tadi memiliki kandungan Nikel sebesar 25 – 28% dengan suhu sekitar 1300°C. Selanjutnya *matte* dikirim ke *converter* melalui *ladle*.

5. *Converter*

Pada *converter*, kadar *matte* ditingkatkan. Setelah disemprot air bertekanan tinggi hingga berbentuk butiran-butiran, *matte* disaring dan siap dikemas dengan kandungan 78% Ni, 20% S, and 2% Co.

6. *Packaging*

Setiap kantong berisi tiga ton nikel *matte*. Produk diangkut ke pelabuhan Balintang, lalu dikapalkan ke Jepang untuk proses pemurnian lebih lanjut.