

**SKRIPSI**

**STUDI PENGARUH FRAKSI UKURAN BUTIR TERHADAP  
KADAR BIJIH NIKEL LATERIT ZONA LIMONIT DAN  
SAPROLIT DI BUKIT X PT VALE INDONESIA Tbk**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**MUHAMMAD ALFIAN  
D621 16 012**



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

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**STUDI PENGARUH FRAKSI UKURAN BUTIR TERHADAP  
KADAR BIJIH NIKEL LATERIT ZONA LIMONIT DAN  
SAPROLIT DI BUKIT X PT VALE INDONESIA Tbk**

Disusun dan diajukan oleh

**Muhammad Alfian  
D621 16 012**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian  
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 2 Agustus 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

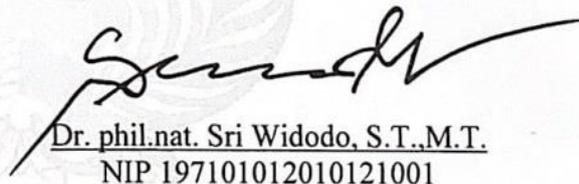
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



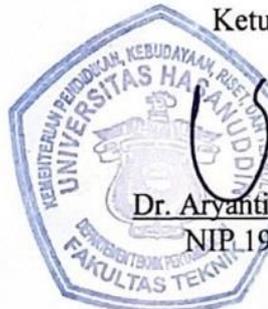
Dr. Sufriadin, S.T., M.T.  
NIP 196608172000121001

Pembimbing Pendamping,



Dr. phil.nat. Sri Widodo, S.T.,M.T.  
NIP 197101012010121001

Ketua Program Studi,



Dr. Aryanti Virianti Anas, ST., MT.  
NIP.197010052008012026

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini;

Nama : Muhammad Alfian  
NIM : D62116012  
Program Studi : Teknik Pertambangan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{ Studi Pengaruh Fraksi Ukuran Butir terhadap Kadar Bijih Nikel Laterit Zona Limonit dan Saprolit di Bukit X PT Vale Indonesia Tbk }

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

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

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

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

Gowa, 2 Agustus 2023

Yang Menyatakan



Muhammad Alfian

## ABSTRAK

**MUHAMMAD ALFIAN.** *STUDI PENGARUH FRAKSI UKURAN BUTIR TERHADAP KADAR BIJIH NIKEL LATERIT ZONA LIMONIT DAN SAPROLIT DI BUKIT X PT VALE INDONESIA Tbk* (dibimbing oleh bapak Dr. Sufriadin, S.T., M.T. dan bapak Dr. phil.nat. Sri Widodo, S.T.,M.T.)

PT Vale Indonesia masih memiliki beberapa bukit yang sementara ini dilakukan eksplorasi, salah satunya Bukit X yang menjadi lokasi penelitian. Bentuk dan ukuran butir suatu mineral serta derajat liberasinya juga sangat menentukan perolehan kadar bijih. Berdasarkan informasi tersebut, diperlukan kajian mengenai hubungan atau seberapa besar pengaruh fraksi ukuran butir terhadap kadar nikel laterit pada zona limonit dan saprolit di Bukit X PT Vale Indonesia Tbk. Tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi komposisi mineralogi bijih nikel laterit dan menganalisis distribusi komposisi kimia terhadap fraksi ukuran butir kadar bijih limonit dan saprolit nikel laterit. Penelitian ini menggunakan sampel bijih limonit dan saprolit pada Bukit X PT Vale Indonesia Tbk dengan fraksi ukuran butir (70#), (80#), (100#) dan (120#). Penentuan komposisi mineral dan kimia dilakukan dengan menggunakan metode X-Ray Difraktogram (XRD) dan metode X-Ray Fluorescence (XRF). Hasil analisis XRD menunjukkan komposisi mineral bijih limonit terdiri dari kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ), magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), magnesit ( $\text{MgCO}_3$ ), dan goetit ( $\text{FeO(OH)}$ ) sedangkan pada bijih saprolit mengandung talk ( $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_2$ ), kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ), magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), lizardit ( $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), goetit ( $\text{FeO(OH)}$ ) dan antigorit ( $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ). Kadar Ni, Co,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mengalami kenaikan pada fraksi ukuran 120 mesh, sebaliknya menurun pada fraksi ukuran 70 mesh. Pada  $\text{SiO}_2$  dan MgO mengalami penurunan pada ukuran 120 mesh, dan sebaliknya mengalami kenaikan pada fraksi ukuran 70 mesh.

Kata Kunci: Ukuran butir, limonit, saprolit, kadar, kuarsa

## ABSTRACT

**MUHAMMAD ALFIAN.** *STUDY OF THE EFFECT OF GRAIN SIZE FRACTION ON LIMONITE AND SAPROLYTE ZONE LATERITE NICKEL ORE GRADE AT X HILL PT VALE INDONESIA Tbk (supervised by Mr. Dr. Sufriadin, S.T., M.T. and Mr. Dr. phil.nat. Sri Widodo, S.T.,M.T.)*

PT Vale Indonesia still has several hills which are currently being explored, the one is Bukit X which become a research location. Shape and size of the grains of a mineral and the degree of liberation also determine obtained of grade ore. Based on this information, it is necessary to study the relationship or how much influence the grain size fraction has on nickel laterite content in the limonite and saprolite zones at Bukit X PT Vale Indonesia Tbk. The purpose of this study was to identify the mineralogical composition of lateritic nickel ore and to analyze the distribution of chemical composition to the grain size fraction of limonite and saprolite nickel lateritic ores. This study used limonite and saprolite ore samples at Bukit X PT Vale Indonesia Tbk with grain size fractions (70#), (80#), (100#) and (120#). Coating of mineral and chemical compositions was carried out using the X-Ray Diffractogram (XRD) and X-Ray Fluorescence (XRF) methods. The results of the XRD analysis showed that the mineral composition of the limonite ore consisted of quartz ( $\text{SiO}_2$ ), magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), magnesite ( $\text{MgCO}_3$ ), and goethite ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ) while the saprolite ore contained talc ( $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_2$ ), quartz ( $\text{SiO}_2$ ), magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), lizard ( $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), goethite ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ) and antigorite ( $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ). The grade of Ni, Co,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  increased in the 120 mesh size fraction, whereas decreased in the 70 mesh size fraction.  $\text{SiO}_2$  and MgO decreased at 120 mesh size, and on the contrary increased at 70 mesh size fraction.

Keywords: Grain size, limonite, saprolite, grade, quartz

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
PERNYATAAN KEASLIAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ABSTRAK .....	ii
ABSTRACT .....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
KATA PENGANTAR .....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Tahapan penelitian .....	3
1.6 Lokasi Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Geologi Regional .....	6
2.2 Geologi Regional Daerah Penelitian.....	7
2.3 Batuan Ultramafik.....	9
2.4 Nikel Laterit .....	11
2.5 Pengolahan Biji Nikel Laterit .....	16
2.6 Nikel dan Kobal .....	25
2.7 Karakteristik Batuan Nikel.....	27
2.8 Ukuran Butir .....	28
BAB 3 METODOLOGI penelitian .....	32
3.1 Preparasi Sampel.....	32
3.2 Analisis Fraksinasi.....	35
3.3 Analisis <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	35
3.5 Analisis <i>X-Ray Diffraction (XRF)</i> .....	36
3.4 Bagan Alir Penelitian .....	37
BAB 4 .....	38
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1 Karakteristik Mineralogi Biji.....	38
4.2 Karakteristik Kimia Biji Ni – Laterit .....	41
BAB 5 .....	46
KESIMPULAN DAN SARAN.....	46
5.1 Kesimpulan .....	46
5.2 Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA .....	47

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Peta Lokasi Pengambilan Sampel .....	5
Gambar 2 Geologi Regional Daerah Pulau Sulawesi (Kadariusman, et. Al., 2004) .....	7
Gambar 3 Peta Geologi Lokal Lokasi Penelitian (dimodifikasi dari Sufriaddin et.al., 2011).....	8
Gambar 4 Sketsa Zona Endapan Nikel Laterit (Elias, 2002) .....	13
Gambar 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) .....	15
Gambar 6 Diagram Alir Sederhana Ekstraksi Ni-Laterit dengan Metode Pirometalurgi (Setiawan, 2016) .....	20
Gambar 7 Bagan Alir Pengolahan Limonit dengan Proses HPAL di Moa Bay (Kursunoglu & Kaya, 2016).....	22
Gambar 8 Tahapan Pengolahan Bijih Ni-Laterit PT Vale Indonesia (PT. Vale Indonesia, 2018).....	23
Gambar 9 Sampel Batuan Nikel (PT Vale, 2013).....	25
Gambar 10 Profil Kobal (Hannis & Bide, 2009) .....	26
Gambar 11 Persebaran Kadar Nikel pada Berbagai Ukuran Butir (Winarno dkk, 2022) .....	31
Gambar 12 Pengeringan Sampel Nikel.....	32
Gambar 13 <i>Quartering</i> Sampel Ni Zona Limonit.....	33
Gambar 14 <i>Quartering</i> Sampel Ni Zona Saprolit.....	33
Gambar 15 Proses Reduksi Ukuran .....	34
Gambar 16 Alat Sieving.....	34
Gambar 17 Alat XRD untuk Analisis Mineral.....	36
Gambar 18 Alat XRF untuk Analisis Kimia .....	36
Gambar 19 Diagram alir penelitian.....	37
Gambar 20 Difraktogram keterdapatan mineral sampel awal bijih nikel laterit (A); zona limonit dan (B); zona saprolit .....	38
Gambar 21 Grafik kadar unsur fraksi bijih limonit.....	42

Gambar 22 Grafik Kadar Unsur Fraksi Sampel Saprolit ..... 44

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Klasifikasi Mobile Element Pada Endapan Ni-Laterit (Trescases, 1975) .....	12
Tabel 2 Klasifikasi Endapan Ni-Laterit Berdasarkan Mineralogi (Brand et al., 1998; Gleeson et al., 2003) .....	14
Tabel 3 Spesifikasi Target Kadar Bijih pada Blok <i>East</i> dan <i>West</i> .....	23
Tabel 4 Tekstur tanah (Saefudin, 1989).....	30
Tabel 5 Kadar nikel pada setiap ukuran butir (Winarno dkk, 2022).....	31
Tabel 6 Komposisi Mineral Sampel Awal Bijih Limonit Bukit X PT Vale Indonesia .....	39
Tabel 7 Komposisi Mineral Sampel Awal Bijih Saprolit Bukit X PT Vale Indonesia .....	40
Tabel 8 Kadar unsur fraksi bijih limonit .....	43
Tabel 9 Kadar Unsur Fraksi Sampel Saprolit .....	43

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Analisis XRD SA-LIM .....	51
Lampiran 2 Data Analisis XRD SA-SAP .....	56
Lampiran 3 Data Analisis XRF .....	62
Lampiran 4 Peta Pengambilan Sampel .....	63

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah rabbil alamin* penulis ucapkan sebagai bentuk rasa syukur kepada Allah *Subhanahu wa ta'ala* karena atas berkah hidayah dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Studi Pengaruh Fraksi terhadap Kadar Bijih Nikel Laterit Zona Limonit dan Saprolit di Bukit X PT Vale Indonesia Tbk”.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih dan memberikan doa terbaik, semoga Allah memberikan balasan terbaik kepada semua pihak yang ikut andil dalam membantu dan memberikan dukungan kepada penulis selama proses penyusunan skripsi ini. PT Vale Indonesia Tbk adalah pihak yang memfasilitasi penulis dalam melakukan penelitian di wilayah IUP perusahaan.

Terima kasih penulis juga haturkan kepada Bapak Dr. Sufriadin, S.T., M.T., selaku koordinator LBE Pengolahan Bahan Galian dan dosen pembimbing utama, bapak Dr. phil.nat. Sri Widodo, S.T.,M.T., selaku dosen pembimbing kedua serta Ibu yang telah mencurahkan waktu, tenaga dan ilmunya kepada penulis. Terima kasih juga kepada kak Akmal Saputno S.T., M.T., selaku asisten dosen serta seluruh bapak/ibu dosen dan staff administrasi yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Terima kasih kepada seluruh mahasiswa Teknik Pertambangan angkatan 2016, dan juga kepada seluruh anggota LBE Pengolahan Bahan Galian yang telah banyak membantu dan memberi dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi. Terima kasih sedalam – dalamnya kepada Bapak Muhammad Harisal dan alm. Ibu Yulismayanti selaku orang tua serta seluruh keluarga yang selalu memberikan dukungan dan doa kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Skripsi ini saya persembahkan kepada ibunda almarhum tercinta karena beliau telah memberikan pelajaran hidup yang sangat berharga. Terima kasih juga kepada kepada Dian Alvionita, Dzul Rahmat dan Rockbolt yang telah memberikan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi. Sekali lagi terima kasih.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dan keterbatasan selama penelitian dan dalam penyusunan skripsi, sehingga kritik dan saran sangat penulis harapkan guna menutupi kekurangan dan keterbatasan penulis dalam penyusunan skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pembaca.

Gowa, Agustus 2023

Muhammad Alfian

# **BAB I PENDAHULUAN**

## **1.1 Latar Belakang**

Nikel adalah logam putih keperakan dengan sedikit semburat keemasan dengan polesan tinggi. Ini adalah salah satu dari empat elemen yang bisa menjadi magnet mendekati suhu kamar, bersama dengan besi, Kobalt, dan gadolinium. Struktur kristal stabil pada tekanan lebih dari 70 GPa. Nikel termasuk dalam kelompok logam transisi yang memiliki sifat keras, mudah dibentuk dan ulet, dan memiliki konduktivitas listrik dan panas yang relatif tinggi untuk logam – logam transisi. Namun, tekanan itu telah dicapai dalam nanopartikel Ni (Sharma et al., 2018).

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).

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 Kontrak Kerja telah berkurang hingga hanya 1,8% dari luasan awal yang diberikan oleh Pemerintah Indonesia pada saat penandatanganan Kontrak Kerja tahun 1968 seluas 6,6 juta hektar di bagian timur dan tenggara Sulawesi akibat serangkaian pelepasan areal Kontrak Kerja.

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% kobal, serta 20% - 21% sulfur. Seluruh produk nikel matte dikapalkan ke Jepang untuk proses pemurnian lebih lanjut (PT Vale Indonesia, 2018). PT Vale Indonesia masih memiliki beberapa bukit yang sementara ini dilakukan eksplorasi, salah satunya Bukit X yang menjadi lokasi penelitian. Sampel yang telah dihomogenisasi dari hasil pengeboran menggunakan ukuran fraksi ayakan -1 dan -6.

Pengolahan bahan galian adalah proses dimana bahan galian diolah sedemikian rupa dengan mempergunakan perbedaan sifat fisika sehingga menghasilkan produk yang dapat dijual dan produk yang tidak berharga dengan tidak mengubah sifat fisik/kimia bahan galian yang bersangkutan. Banyak ragam cara proses pengolahan dan untuk setiap bahan galian yang mengandung mineral tertentu membutuhkan proses pengolahan yang spesifik berdasarkan perbedaan sifat fisika mineral-mineral yang terkandung dalam bahan galian. Bentuk dan ukuran butir suatu mineral serta derajat liberasinya juga sangat menentukan perolehan kadar bijih.

Berdasarkan informasi tersebut, penelitian ini dilaksanakan pada area Bukit X PT Vale Indonesia, Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan dan diperlukan kajian mengenai hubungan atau seberapa besar pengaruh fraksi ukuran butir terhadap kadar nikel laterit pada zona limonit dan saprolit di Bukit X PT Vale Indonesia Tbk.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah penelitian yang dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana komposisi mineralogi bijih nikel laterit sampel Bukit X PT Vale Indonesia?

2. Bagaimana distribusi kadar unsur terhadap fraksi ukuran butir bijih limonit dan saprolit sampel Bukit X PT Vale Indonesia?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui komposisi mineralogi bijih nikel laterit sampel Bukit X PT Vale Indonesia.
2. Menganalisis distribusi kadar unsur terhadap fraksi ukuran butir bijih limonit dan saprolit sampel Bukit X PT Vale Indonesia.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber referensi bagi akademisi dan praktisi mengenai seberapa besar pengaruh fraksi terhadap kadar nikel laterit zona limonit dan saprolit di Bukit X PT Vale Indonesia.

### **1.5 Tahapan penelitian**

Tahapan penelitian yang dilakukan dalam penyusunan tugas akhir adalah sebagai berikut:

1. Tahap persiapan

Tahapan persiapan merupakan tahapan yang berisi kegiatan pendahuluan sebelum dilakukan penelitian. 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.

2. Tahap studi literatur

Studi literatur merupakan kegiatan yang meliputi pengumpulan dan pengkajian berbagai teori dan referensi mengenai topik penelitian yang dapat mendukung jalannya penelitian. Kajian ini ditinjau melalui buku, jurnal penelitian, prosiding, artikel ataupun sumber-sumber lain yang berkaitan dengan topik penelitian.

3. Tahap perumusan masalah

Perumusan masalah dilakukan untuk menentukan masalah yang akan diteliti dan menjadi batasan dalam melakukan penelitian.

4. Tahap orientasi lapangan dan pengambilan Sampel

Orientasi lapangan dilakukan di daerah Bukit X PT Vale Indonesia Tbk. Pengambilan sampel dilakukan dengan mengambil beberapa sampel pengeboran dari beberapa titik kemudian sampel tersebut dilakukan proses homogenisasi. Homogenisasi adalah proses atau beberapa proses yang digunakan untuk membuat campuran menjadi seragam. Homogenisasi bisa disebut juga dengan pencampuran beberapa zat yang terkait untuk membentuk suspensi atau emulsi.

5. Tahap analisis data

Tahapan analisis data dilakukan di laboratorium menggunakan XRD dan XRF.

6. Tahap pengolahan data

Pengolahan data merupakan tahapan pengumpulan data-data hasil analisis yang kemudian diolah dengan menggunakan perangkat lunak komputer. Hasil analisis dengan menggunakan XRF diolah dengan menggunakan software spectra plus, sedangkan untuk hasil analisis XRD diolah dengan menggunakan software Match! 3 Trial Version.

7. Tahap penyusunan laporan tugas akhir

Penyusunan laporan tugas akhir merupakan kegiatan mengumpulkan keseluruhan data yang didapatkan dan disusun dalam bentuk laporan akhir.

8. Tahap seminar dan penyerahan laporan tugas akhir

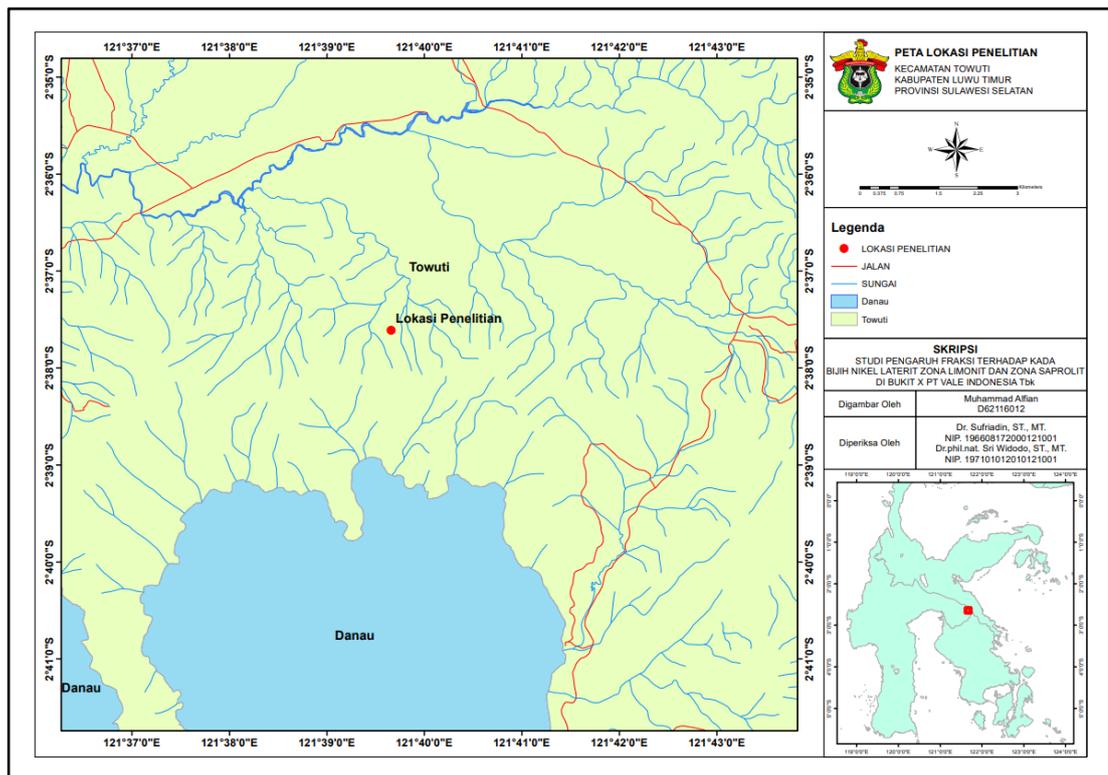
Laporan hasil penelitian akan dipresentasikan dalam seminar hasil. Koreksi dan saran pada saat seminar akan digunakan untuk merevisi kembali laporan yang telah diseminarkan.

## **1.6 Lokasi Penelitian**

Secara administratif, lokasi penelitian berada di Desa Sorowako Kecamatan Towuti, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan, dengan batas-batas geografis yakni di sebelah Utara berbatasan dengan Danau Matano, Kabupaten

Poso dan Provinsi Sulawesi Tengah, sebelah Barat berbatasan dengan Wasoponda, Kecamatan Bone-Bone dan Kabupaten Luwu Utara, sebelah Selatan berbatasan dengan Wawondula, Kabupaten Kendari, Provinsi Sulawesi Tenggara dan Teluk Bone, sebelah Timur berbatasan dengan Danau Mahalona dan Provinsi Sulawesi Tengah.

Secara geografis terletak di bagian selatan garis khatulistiwa yang terletak pada posisi  $2^{\circ}37'37''$  LS dan  $121^{\circ}39'39''$  BT, kondisi topografi wilayah pusat Sorowako pada umumnya pegunungan dan berbukit. Pengambilan sampel dilakukan pada Bukit X seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 merupakan area eksplorasi PT Vale Indonesia Tbk. Pengambilan data dilakukan pada bulan Juni – Juli 2022. Daerah penelitian dapat dicapai dengan menggunakan transportasi darat dari Makassar menuju daerah penelitian pada Desa Sorowako Kecamatan Towuti Kabupaten Luwu Timur yang ditempuh sekitar  $\pm 12$  jam dengan jarak  $\pm 650$  km.



Gambar 1 Peta Lokasi Pengambilan Sampel

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Geologi Regional**

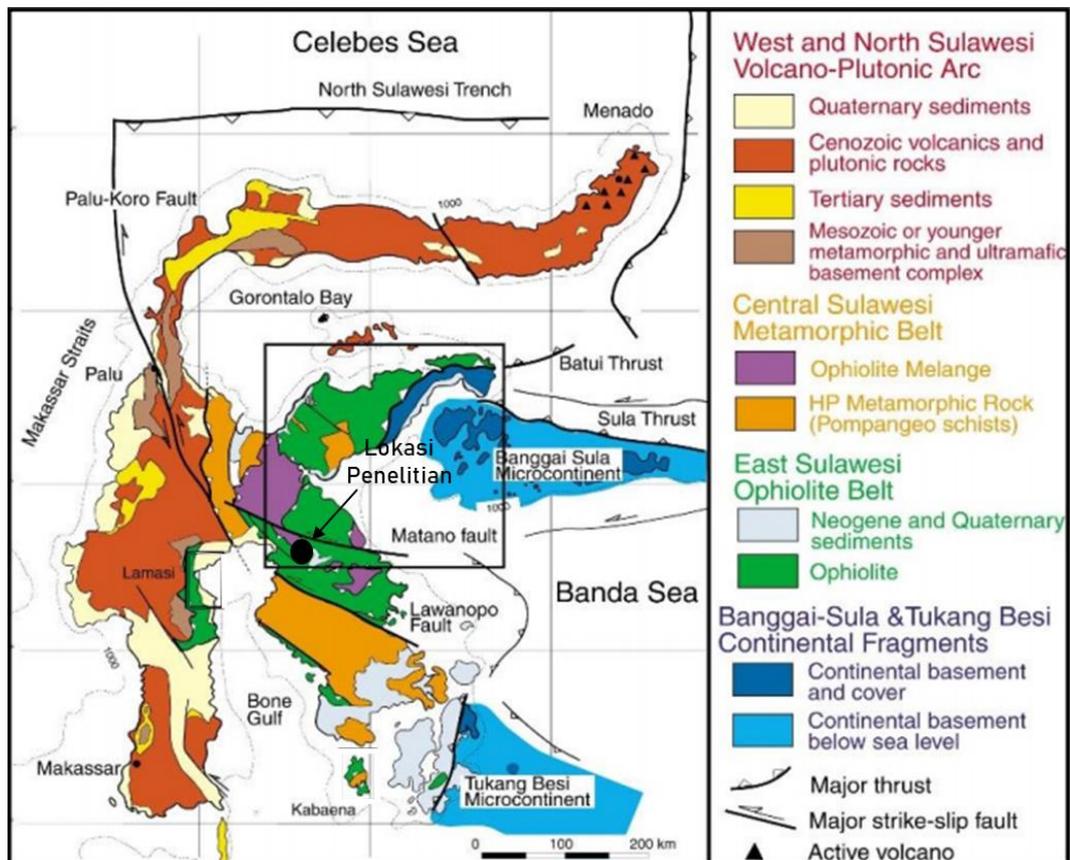
Pulau Sulawesi berbentuk K berada pada zona konvergensi tiga lempeng tektonik: Eurasian, Pasifik, dan India-Australia. Karena aktivitas tektonik yang kuat, struktur geologi Pulau Sulawesi sangat rumit. Empat sabuk lithotektonik diidentifikasi di pulau ini: Sabuk Batuan Gunung Api Sulawesi Barat, Sabuk Kompleks Metamorphik Sulawesi Tengah, Sabuk Ophiolit Sulawesi Timur, dan Fragmen Kontinental Banggai-Sula, Tukang Besi, dan Buton.

Sabuk Ophiolit Sulawesi Timur meluas 700 km dari utara ke selatan dan tersingkap lebih dari 15.000 km<sup>2</sup> (Kadariusman et. al., 2004). Batuan ultramafik banyak terdapat didalam sabuk ini, terdiri dari lherzolit, harzburgit, dan peridotit, dengan beberapa dunit dan piroksin. Ada dua unit litologi lain yang terjadi di sekitar kompleks ultramafik ini yaitu: batuan sedimen aluvial dan batuan sedimen kuarter dan kapur (Kadariusman, et. al., 2004).

Wilayah penelitian terletak di Sabuk Ophiolit Sulawesi Timur dimana batuan ultramafik Cretaceous tersingkap karena proses subduksi yang terjadi pada Miosen, sekitar 10 juta tahun yang lalu. Daerah penelitian terdiri dari tiga unit batuan: endapan alluvial Kuarter dan endapan lacustrine, batuan ultramafik Tersier (harzburgit) yang menjadi batuan dasar endapan nikel laterit, dan batuan sedimen berumur Kapur (Golightly, et. al., 1979).

Zona Sulawesi Barat terdiri dari subduksi berumur kapur; bagian tengah sedimen Tersier; dan batuan granit berumur tersier pada bagian atas. Zona Sulawesi Timur terdiri dari fragmen ophiolit dan kompleks subduksi. Sebuah perbedaan penting antara dua busur dari Sulawesi adalah terjadinya asosiasi granit dan granodiorit di busur barat dan tidak ada di bagian busur timur, yang memiliki kelimpahan batuan mafik dan ultrabasa sebagai gantinya. Pada Miosen akhir, Pulau Sulawesi dibelah dari Kalimantan, pulau Sulawesi menjadi terdistorsi, dan subduksi aktif menjadi semakin lebih menonjol di sepanjang Sulawesi palung utara (North Arm Sulawesi). Rifting dari Sulawesi dari Borneo dimulai dalam

waktu Paleogen dan pemisahan lengkap dicapai pada waktu Miosen (Ahmad, 2005). Gambar 2 menunjukkan geologi regional Daerah Pulau Sulawesi.



Gambar 2 Geologi Regional Daerah Pulau Sulawesi (Kadarusman, et. Al., 2004)

## 2.2 Geologi Regional Daerah Penelitian

Secara stratigrafi formasi-formasi batuan yang menyusun daerah penelitian dan sekitarnya terdiri atas :

### 1. Kompleks Ultramafik

Kompleks Ultramafik tersebar luas di bagian Utara dan Selatan daerah penelitian. Kompleks ini tersusun oleh satuan - satuan batuan harzburgit, lherzolit, wehrlit, websterit, serpentinit serta dunit. Formasi ini berumur Kapur.

### 2. Melange Wasuponda

Melange wasuponda tersebar setempat di bagian Barat daerah penelitian. Kompleks ini tersusun oleh satuan-satuan batuan terdiri dari bongkahan

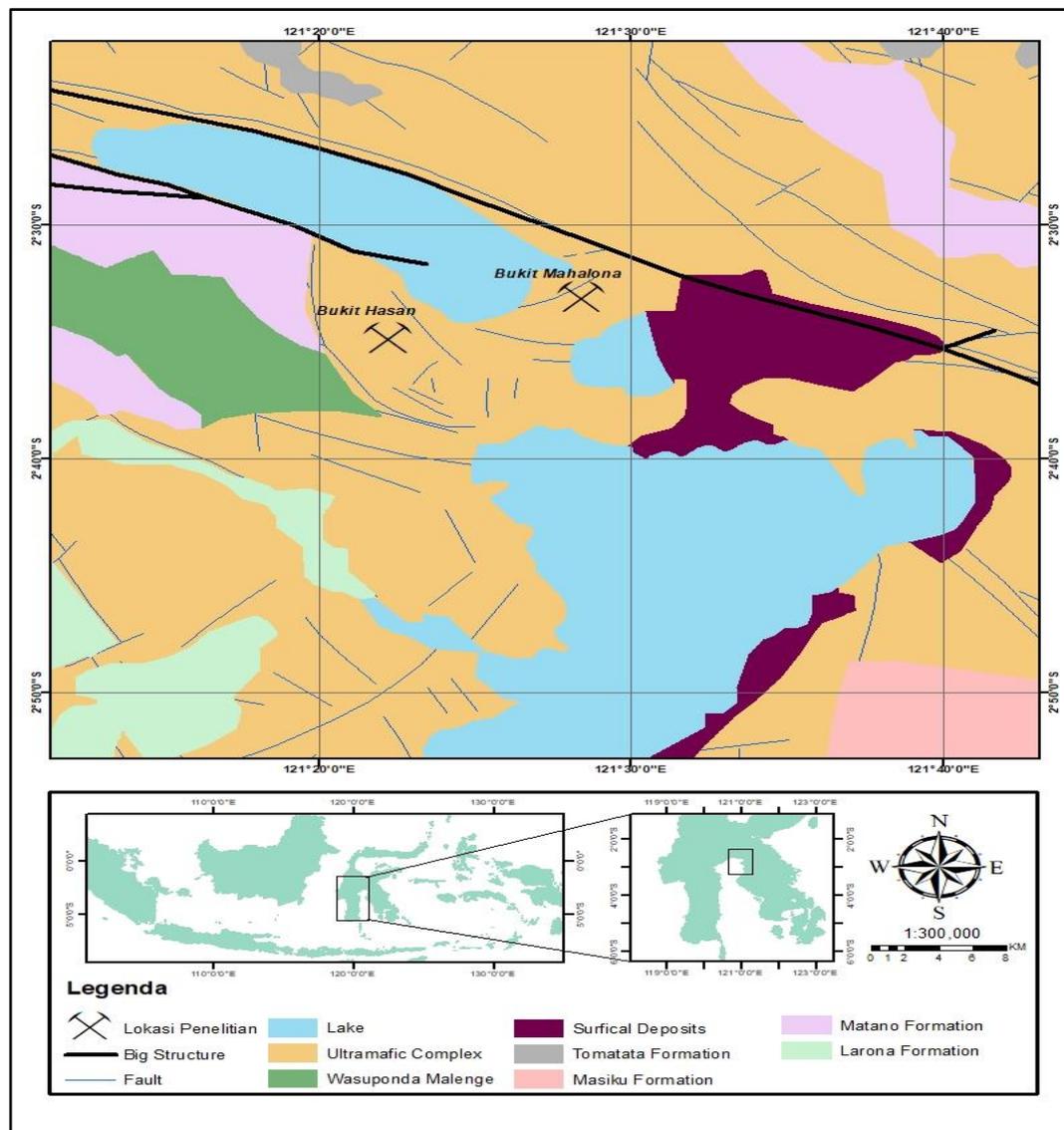
asing, sekis, genes, batuan mafik, amfibolit, diabas malih, batuan ultramafik (pikrit), batugamping terdaunkan juga eklogit. Formasi ini berumur Kapur.

### 3. Endapan Permukaan

Endapan permukaan tersebar di sekitar Danau Towuti dan Danau Mahalona. Endapan ini tersusun oleh Lempung, pasir dan kerikil. Endapan ini berumur Resen.

### 4. Formasi Tomata

Formasi Tomata tersebar setempat-setempat di bagian Utara daerah penelitian. Formasi ini tersusun oleh perselingan batupasir konglomerat, batulempung dan tuf dengan sisipan lignit. Formasi ini berumur Miosen.



Gambar 3 Peta Geologi Lokal Lokasi Penelitian (dimodifikasi dari Sufriaddin et.al., 2011)

### 5. Formasi Masiku

Formasi Masiku tersebar setempat di bagian Tenggara. Formasi tersusun oleh batusabak, serpih, filit, batupasir, batugamping dengan buncah gamping rijangan. Formasi ini berumur Jura.

### 6. Formasi Matano

Formasi Matano tersebar setempat-setempat di sebelah Barat Danau Matano. Formasi tersusun oleh batugamping hablur, kalsilit, napal, serpih, bersisipan rijang maupun batusabak. Formasi ini berumur Kapur Akhir.

### 7. Formasi Larona

Formasi Larona tersebar setempat-setempat di bagian Barat Daya daerah penelitian. Formasi ini tersusun oleh Konglomerat, batupasir, batulempung dengari sisipan tufa. Formasi ini berumur Kapur.

Struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian dan sekitarnya secara umum berarah hampir barat-timur, melewati Kompleks Ultramafik dan Endapan Permukaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 yang merupakan peta geologi lokal lokasi penelitian.

## 2.3 Batuan Ultramafik

Batuan Ultramafik merupakan batuan yang terdiri dari mineral - mineral yang bersifat mafik (ferromagnesian), seperti olivin, piroksin, hornblend dan mika. Semua batuan ultramafik memiliki indeks warna  $>70\%$ . Perlu diperhatikan bahwa istilah “ultrabasa” dan “ultramafik” tidak identik. Sebagian besar batuan ultramafik juga ultrabasa, sementara tidak semua batuan ultrabasa yang ultramafik. Dengan demikian batuan yang kaya akan feldspathoid merupakan ultrabasa namun bukan batuan ultramafik, karena tidak mengandung mineral ferromagnesian (Ahmad, 2002).

Berikut adalah jenis – jenis dari batuan ultramafik, antara lain:

#### a. Peridotit

Peridotit biasanya membentuk suatu kelompok batuan ultramafik yang disebut ofiolit, umumnya membentuk tekstur kumulus yang terdiri dari atas harsburgit, lertzolit, werlite dan dunit. Peridotit tersusun atas mineral – mineral holokristalin dengan ukuran medium – kasar dan berbentuk anhedral.

Komposisinya terdiri dari olivin dan piroksin. Mineral asesorisnya berupa plagioklas, hornblende, biotit dan garnet.

b. Piroksinit

Piroksinit merupakan kelompok batuan ultramafik monomineral dengan kandungan mineral yang hampir sepenuhnya adalah piroksin. Dalam hal ini Piroksinit diklasifikasikan lebih lanjut apakah masuk kedalam Piroksin ortorombik atau monoklin, yaitu:

- Orthopyroxenites: Bronzitites
- Clinopyroxenites: Diopsidites; diallagites

c. Hornblendit

Hornblendit merupakan batuan ultramafik monomineral dengan komposisi mineral sepenuhnya hornblende.

d. Dunit

Batuan yang hampir murni olivin (90-100%), umumnya hadir sebagai forsterit atau kristolit, terdapat sebagai sill atau korok-korok halus (dalam dimensi kecil). Dunit memiliki komposisi mineral hampir seluruhnya adalah monomineralik olivin (umumnya magnesit olivin), mineral asesorisnya meliputi kromit, magnetit, ilmenit dan spinel. Pembentukan dunit berlangsung pada kondisi padat atau hampir padat (pada temperatur yang tinggi) dalam larutan magma dan sebelum mendingin pada temperatur tersebut, batuan tersebut siap bersatu membentuk massa olivin anedral yang saling mengikat. Terbentuk batuan yang terdiri dari olivin murni (dunit) misalnya, membuktikan bahwa larutan magma (liquid) berkomposisi olivin memisah dari larutan yang lain (Ahmad, 2002).

e. Serpentinit

Serpentinit merupakan batuan hasil alterasi hidrotermal dari batuan ultramafik, dimana mineral-mineral olivin dan piroksin jika alterasi akan membentuk mineral serpentin. Serpentin sangat umum memiliki komposisi batuan berupa monomineralik serpentin, batuan tersebut dapat terbentuk dari serpentinisasi dunit dan peridotit. Serpentinit dapat dihasilkan dari mantel oleh hidrasi dari mantel ultramafik (mantel peridotit dan dunit). Di bawah pegunungan tengah samudera (*mid Oceanic Ridge*) pada temperatur <math><500^{\circ}\text{C}</math> (Ahmad, 2002).

## 2.4 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).

### 2.4.1 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 16 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 zona 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 serpentinit 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). Berikut merupakan klasifikasi *mobile element* pada endapan Ni-Laterit yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 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	

### 2.4.2 Klasifikasi Endapan Nikel Laterit

Berdasarkan zonasinya, endapan nikel laterit terbagi menjadi tiga seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, 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
	O. Besi 5 – 10 % Silika >35 %	ZONA <i>BEDROCK</i>

Gambar 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 Klasifikasi Endapan Ni-Laterit Berdasarkan Mineralogi (Brand et al., 1998; Gleeson et al., 2003)

Nama	Kadar Ni	Mineralogi
<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>

1. *Hydrous silicate deposit*

Endapan tipe hydrous silicate yang terletak pada bagian bawah zona saprolit (horizon bijih) didominasi oleh mineral-mineral hidrous Mg-Ni silikat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Setempat pada zona saprolit, urat-urat halus dan box-works dapat terbentuk. Rekahan dan batas-batas antar butir 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-oxhydroxide akan bergerak turun ke bawah seperti yang terlihat pada Gambar 5.

2. *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.

SCHEMATIC LATERITE PROFILE	COMMON NAME	APPROXIMATE ANALYSIS (%)				EXTRACTION PROCESS
		Ni	Co	Fe	MgO	
	RED LIMONITE	<0.8	<0.1	>50	<0.5	
	YELLOW LIMONITE	0.8 to 1.5	0.1 to 0.2	40 to 50	0.5 to 5	
	TRANSITION	1.5 to 2	0.02 to 0.1	25 to 40	5 to 15	
	SAPROLITE/ GARNIERITE/ SERPENTINE	1.8 to 3		10 to 25	15 to 35	
	FRESH ROCK	0.3	0.01	5	35 to 45	

Gambar 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)

### 3. *Oxides deposit*

Oxide deposit dikenal juga dengan nama endapan limonit, dimana nikel berasosiasi dengan Fe-oxyhidroxide, dengan mineral utama Goetit. Kadangkadang 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.

## 2.5 Pengolahan Biji 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 6. 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).

### 2.5.1 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)*

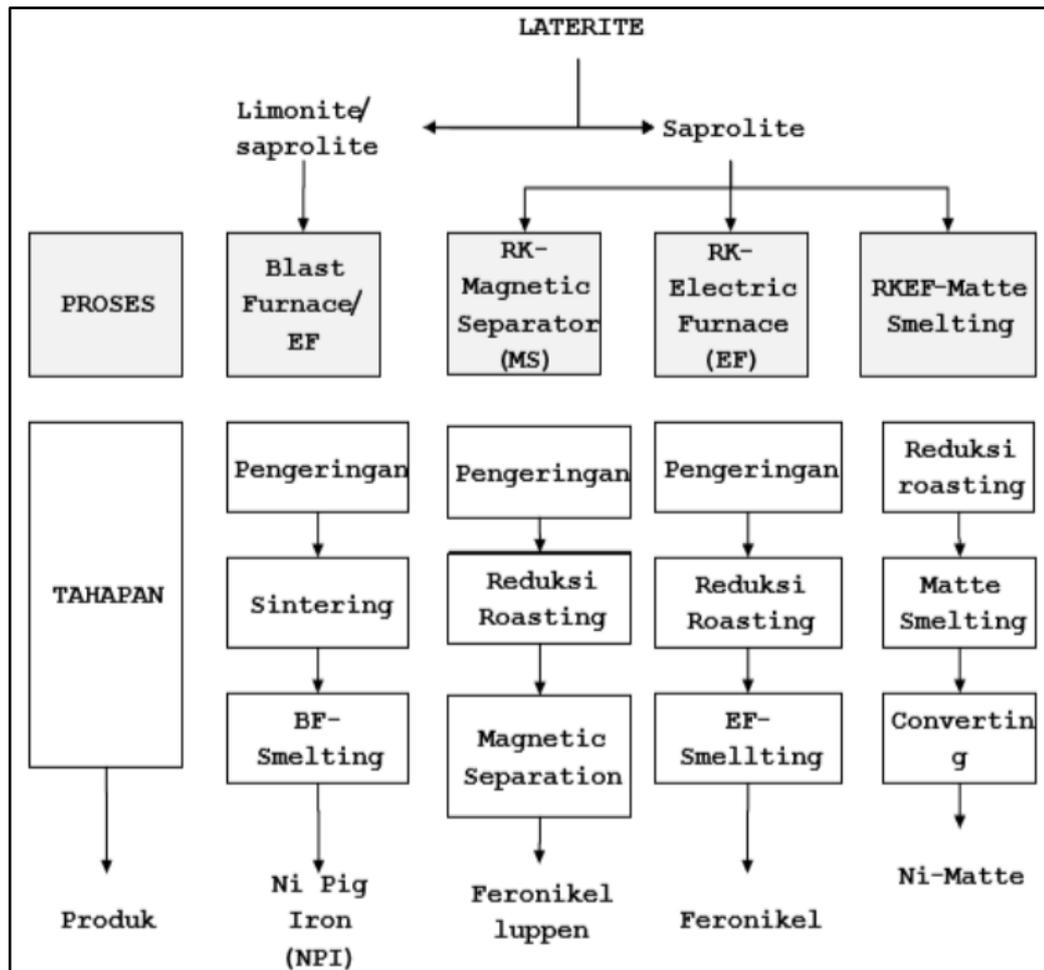
Nickel Pig Iron diproduksi di China mulai tahun 2006 untuk menjawab tingginya harga dan permintaan nikel. *Nickel Pig Iron (NPI)* merupakan

feronikel 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):

- a. Pengeringan (*drying*) yaitu eliminasi sebagian besar air bebas yang terdapat dalam bijih,
- b. 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,
- c. *Electric furnace smelting* yaitu reduksi nikel yang tersisa dan pemisahan feronikel dari hasil sampingnya yaitu slag besi magnesium silikat,

*Refining* yaitu eliminasi unsur minor yang tidak dikehendaki dari produk feronikel untuk dapat memenuhi kebutuhan pasar. Diagram alir sederhana ekstraksi Ni-laterit dengan metode pirometalurgi dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Diagram Alir Sederhana Ekstraksi Ni-Laterit dengan Metode Pirometalurgi (Setiawan, 2016)

### 2.5.2 Hidrometalurgi

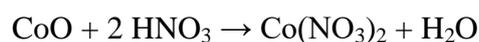
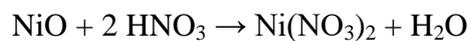
Ekstraksi Hidrometalurgi terdiri dari beberapa proses utama yaitu leaching, pemurnian dan pemulihan logam (Cui & Anderson, 2016). Hidrometalurgi laterit terutama didasarkan pada leaching limonit atau smektit bijih. Proses Hidrometalurgi terdiri dari tiga metode yaitu tank *leaching*, *heap leaching*,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

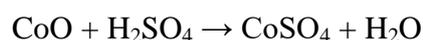
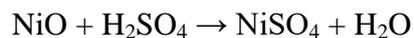
bijih datang belakangan; terutama pada saat alkemis ketika asam dan alkali diketahui dan digunakan (Kursunoglu & Kaya, 2016).

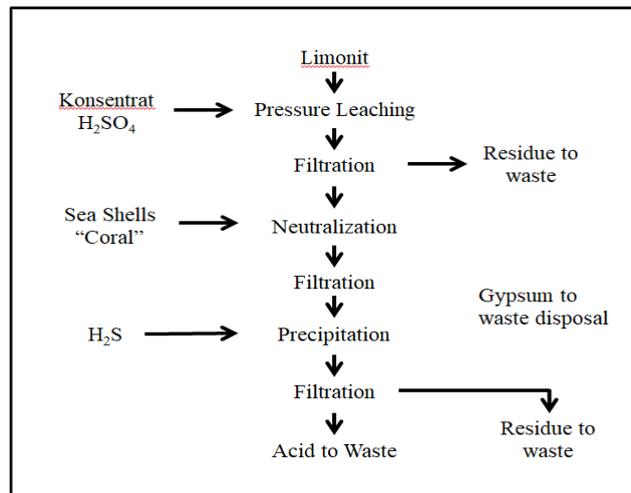
Proses hidrometalurgi, ada tiga metode yang biasanya digunakan yaitu *atmospheric leaching*, *heap leaching* dan *high pressure acid leaching (HPAL)*. *Tank leaching* menggunakan pengaduk dan reagen untuk memulai reaksi. Limpahan mengarah suspensi ke tangki lain, di mana *pregnant solution* dan pengotornya 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 (Stopic & 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 mengestrak 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. Bagan alir pengolahan limonit dengan proses HPAL di Moa Bay dapat dilihat pada Gambar 7. Reaksi pelindian menggunakan asam sulfat dapat dilihat seperti di bawah (Stopic & Friedrich, 2016):





Gambar 7 Bagan Alir Pengolahan Limonit dengan Proses HPAL di Moa Bay (Kursunoglu & Kaya, 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).

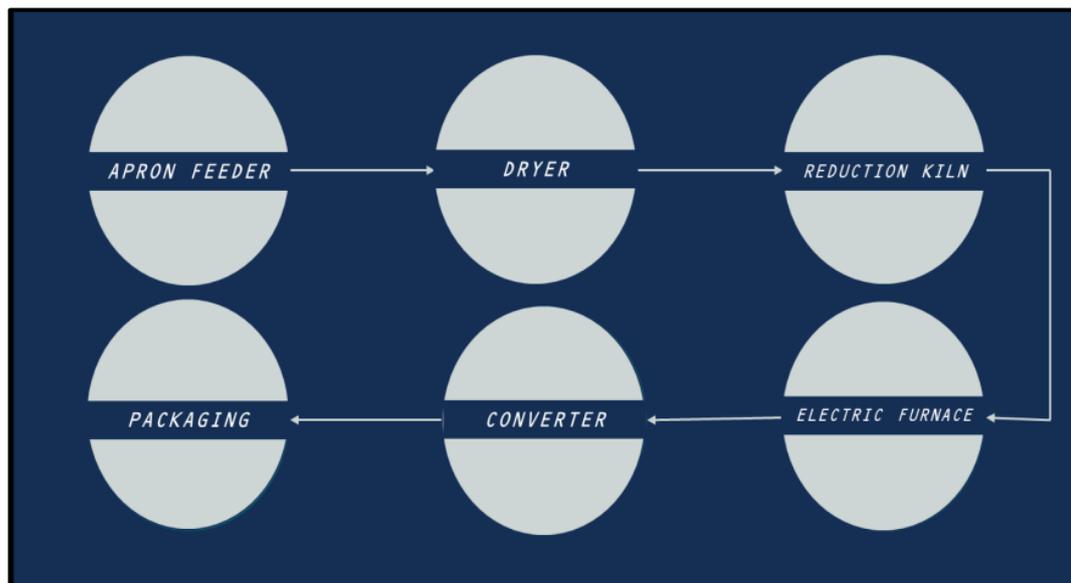
### 2.5.3 Pengolahan Bijih Nikel Laterit pada PT Vale Indonesia

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* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Spesifikasi Target Kadar Bijih pada Blok *East* dan *West*

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



Gambar 8 Tahapan Pengolahan Bijih Ni-Laterit PT Vale Indonesia (PT. Vale Indonesia, 2018)

Pengolahan pirometalurgi terhadap bijih dengan rasio  $\text{SiO}_2/\text{MgO}$  1,8-2,2 lebih baik menghasilkan *nickel – matte*. Pengolahan pirometalurgi terhadap bijih dengan rasio  $\text{SiO}_2/\text{MgO}$  2,5 lebih baik menghasilkan feronikel. Bijih dengan rasio  $\text{SiO}_2/\text{MgO}$  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  $\text{SiO}_2/\text{MgO}$  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-deBenavent, et al., 2014 dalam Husain et al., 2018).

Berikut merupakan tahapan pengolahan bijih nikel laterit pada PT Vale Indonesia yang ditunjukkan pada Gambar 8 (Superiadi, 2006; 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 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.

## 2.6 Nikel dan Kobal

### 2.6.1 Nikel

Nikel adalah unsur logam dengan nomor atom dari 28 dan berat atom 58,6934. Nikel merupakan fasa logam padat dengan massa jenis sekitar 8,902 g/cm<sup>3</sup> pada suhu 19,85°C dan konduktivitas listrik 22%. Titik leleh nikel berada pada suhu sekitar 1453°C dan setelah penggabungan akan berubah menjadi titik didih fase cair sebesar 2732°C. Struktur kristal dari mineral nikel adalah kubus berpusat muka dengan kekerasan 3,8 Mohs skala (Hannis & Bide, 2009). Gambar 9 merupakan kenampakan sampel batuan nikel PT Vale Indonesia.



Gambar 9 Sampel Batuan Nikel (PT Vale, 2013)

Nikel sangat penting bagi industri logam. Nikel banyak digunakan dalam ratusan ribu produk seperti konsumen, industri, militer, transportasi, pengaplikasian kelautan dan arsitektur. Sifat fisik dan kimia yang terbuat dari nikel sangat penting. Sifat fisik dan kimia nikel adalah titik leleh yang tinggi, tahan terhadap korosi dan oksidasi, keuletan sangat ulet, magnet pada suhu kamar, dapat disimpan dengan elektroplating, itu bisa menjadi katalis dalam reaksi kimia, dan dapat didaur ulang (Davis, 2000).

### 2.6.2 Kobal

Kobal adalah logam golongan transisi dan hanya memiliki satu isotop alami, Co59. Terdapat 22 radioisotop kobalt. Co60 adalah salah satu yang paling umum dieksploitasi, yang memiliki waktu paruh 5,27 tahun dan pemancar sinar gamma yang kuat. Kobalt memiliki variabel pada keadaan oksidasi tetapi umumnya ditemukan dalam bentuk +2 atau +3. Kenampakan mineral kobalt dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Profil Kobal (Hannis & Bide, 2009)

Kobal adalah elemen logam dengan nomor atom 27. Kobalt adalah fase padat logam dengan kepadatan sekitar 8,85 g/cm<sup>3</sup> dan titik leleh 1493°C. Kobalt telah dilebur untuk diubah menjadi fase cair dengan titik didih 3100°C. Kobalt yang diklasifikasikan sebagai logam strategis dan penting untuk digunakan dalam

industri pertahanan dan ketergantungan negara-negara industri pada impor Kobalt (Davis, 2000). Kobal yang digunakan adalah:

1. Baterai

Konsumsi kobalt dunia paling banyak berada pada tingkat konsumsi baterai sebesar 50%. Tiga komponen utama teknologi baterai isi ulang adalah baterai nikel-kadmium: nikel-metal hidrida dan lithium-ion baterai, dengan proporsi tertinggi kobal ditemukan dalam performa tinggi (Hannis & Bide, 2009)

2. *Super Alloy*

Konsumsi dunia kobal untuk paduan super adalah 18%. Ketika Kobalt dicampur dengan logam tertentu lainnya dapat menghasilkan 'paduan super' yang mampu menahan tekanan mekanis dan suhu yang parah. Sebagian kecil *super alloy* diproduksi untuk digunakan dalam aplikasi kimia di mana ketahanan terhadap korosi sangat penting.

3. Semen Karbid

Konsumsi kobal dunia untuk semen karbida adalah 8%. Komponen utama semen karbida adalah tungsten karbida dan sejumlah kecil fasa penambah logam Fe, Ni, dan Co yang meningkatkan ketangguhan (Li et al., 2018). Cobalt dalam semen karbida, atau "logam keras," adalah untuk menyediakan pengikat logam ulet untuk karbida keras partikel. Kobal yang digunakan sebagai matriks untuk partikel karbida sebagai kekuatan selama fase cair memungkinkan tercapainya kepadatan tinggi.

4. Katalis, konsumsi dunia kobal untuk katalis adalah 5%.

5. Magnet, konsumsi dunia kobal untuk magnet adalah 3%.

6. Keramik, konsumsi dunia kobal untuk keramik adalah 6%

7. Kegunaan lain, konsumsi dunia kobal untuk keperluan lain adalah 10%.

## 2.7 Karakteristik Batuan Nikel

Produksi nikel Indonesia mencapai 190 ribu ton pertahun dan memiliki 8% cadangan nikel dunia, Sulawesi merupakan daerah dengan produksi nikel paling maju di Indonesia. Potensi alam berupa tambang nikel di Sulawesi sebagian besar telah dikuasai oleh pihak asing dalam kontrak jangka panjang biasanya puluhan

tahun, sehingga hasil yang menjadi milik negara hanya yang sesuai dengan perjanjian kontrak bagi hasil yang juga termasuk menjadi milik masyarakat Sulawesi. Diperkirakan dalam jangka waktu puluhan tahun tersebut cadangan nikel yang ada di Sulawesi akan habis sesuai eksplorasi masa kontrak karyanya (Solihin, 2012).

Sifat-sifat fisika-kimia slag nikel termasuk struktur, viskositas, kerapatan dan sifat lainnya, sangat tergantung pada komposisi kimia dan struktur dari slag atau batuan nikel nya (Pan. et al., 2013; Juvelyn, et al., 2012; dan Andrews, 2004). Nikel laterit pada wilayah pertambangan Morowali (Sulawesi Tengah) digunakan dalam upaya memproduksi nikel *pig iron* menggunakan *mini blast furnace*. Hasil analisis komposisi nikel laterit pada pertambangan Morowali untuk lapisan limonit komposisinya terdiri atas  $\text{SiO}_2$  5,2%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  14,96%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  61,31%, Ni 0,72%,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  1,66% dan LOI 14,42% dan beberapa senyawa lain dalam jumlah yang lebih kecil. Lapisan saprolit komposisinya terdiri atas  $\text{SiO}_2$  36,2%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  4,1%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  22,37%, Ni 2,53%,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  0,97% dan LOI 10,74% dan beberapa senyawa lain dalam jumlah yang lebih kecil (Widi, dkk. 2012).

Nikel laterit pada wilayah pertambangan Sorowako (Sulawesi Selatan) pada ketebalan lapisan batuan limonit dan saprolit mengandung nikel namun tetap menunjukkan persentase unsur/senyawa lainnya yang ada dalam lapisan limonit dan saprolit tersebut. Analisis tersebut menunjukkan bahwa untuk lapisan limonit memiliki kadar ketebalan nikel rata-rata 2,45 meter dengan kandungan unsur lainnya antara lain Fe di atas 35 %, MgO kurang dari 5% dan  $\text{SiO}_2$  di bawah 10%. Sedangkan untuk lapisan saprolit memiliki kadar ketebalan nikel rata-rata 7,04 meter dengan kandungan unsur lainnya antara lain Fe (10 – 35%), MgO (5 – 30%) dan  $\text{SiO}_2$  (10 – 40%) (Tonggiroh, A. 2009).

## 2.8 Ukuran Butir

Pengolahan bahan galian adalah proses/operasi dimana bahan galian diolah sedemikian rupa dengan mempergunakan perbedaan sifat fisika sehingga menghasilkan produk yang dapat dijual dan produk yang tidak berharga dengan tidak mengubah sifat fisik/kimia bahan galian yang bersangkutan. Banyak ragam cara proses pengolahan dan untuk setiap bahan galian yang mengandung mineral

tertentu membutuhkan proses pengolahan yang spesifik berdasarkan perbedaan sifat fisika mineral-mineral yang terkandung dalam bahan galian. Beberapa sifat fisika yang seringkali dijadikan dasar pengolahan suatu bahan galian adalah berat jenis, sifat kemagnetan, sifat kelistrikan, sifat permukaan mineral terhadap gelembung udara (mudah dibasahi atau tidak), dan lain-lain. Disamping itu bentuk dan ukuran partikel suatu mineral serta derajat liberasinya juga sangat menentukan dalam pengolahan bahan galian.

Logam nikel dapat diperoleh dari dua jenis bijih yaitu bijih nikel sulfida dan laterit. Ekstraksi Ni dari bijih sulfida lebih murah dibanding Ni laterit, namun dengan semakin menipisnya sumberdaya dan cadangan Ni sulfida mendorong meningkatnya minat penelitian untuk memperoleh logam Ni dari bijih laterit secara ekonomis (Farrokhpay and Filippov, 2016). Salah satu karakteristik utama bijih nikel adalah kadar konsentrat nikel yang terkandung tidak melebihi 18% Ni. Biasanya, kadar konsentrat adalah antara 6% dan 11% Ni dan dalam beberapa kasus, tidak melebihi 4%. Hal ini disebabkan, bijih nikel tersebut terkandung dalam berbagai inklusi, terutama peridotit dan mineral sulfida yang menyebabkan konsentrat nikel memiliki kadar rendah (Bulatovic, 2007).

Tekstur tanah adalah keadaan tingkat kehalusan tanah yang terjadi karena terdapatnya perbedaan komposisi kandungan fraksi pasir, debu dan liat yang terkandung pada tanah. dari ketiga jenis fraksi tersebut partikel pasir mempunyai ukuran diameter paling besar yaitu 2 – 0.05 mm, debu dengan ukuran 0.05 – 0.002 mm dan liat dengan ukuran < 0.002 mm (penggolongan berdasarkan USDA). keadaan tekstur tanah sangat berpengaruh terhadap keadaan sifat-sifat tanah yang lain seperti struktur tanah, permeabilitas tanah, porositas dan lain-lain.

Butir-butir yang paling kecil adalah butir liat, diikuti oleh butir debu (*silt*), pasir, dan kerikil. Selain itu, ada juga tanah yang terdiri dari batu-batu. Tekstur tanah dikatakan baik apabila komposisi antara pasir, debu dan liatnya hampir seimbang. Tanah seperti ini disebut tanah lempung. Semakin halus butir-butir tanah (semakin banyak butir liatnya), maka semakin kuat tanah tersebut memegang air dan unsur hara. Tanah yang kandungan liatnya terlalu tinggi akan sulit diolah, apalagi bila tanah tersebut basah maka akan menjadi lengket. Tanah jenis ini akan sulit melewatkan air sehingga bila tanahnya datar akan cenderung

tergenang dan pada tanah berlereng erosinya akan tinggi. Tanah dengan butir-butir yang terlalu kasar (pasir) tidak dapat menahan air dan unsur hara.

Penentuan rentang ukuran partikel tanah yang biasanya dinyatakan dalam prosentase dari berat kering total dilakukan analisis secara mekanis (*mechanical analysis*). Analisis saringan (*sieving analysis*) merupakan metode yang biasanya secara langsung untuk menentukan ukuran partikel dengan didasarkan pada batas-batas bawah ukuran lubang saringan yang digunakan. Batas terbawah dalam saringan adalah ukuran terkecil untuk partikel pasir. Berikut merupakan macam tekstur tanah yang ditunjukkan pada Tabel 4.

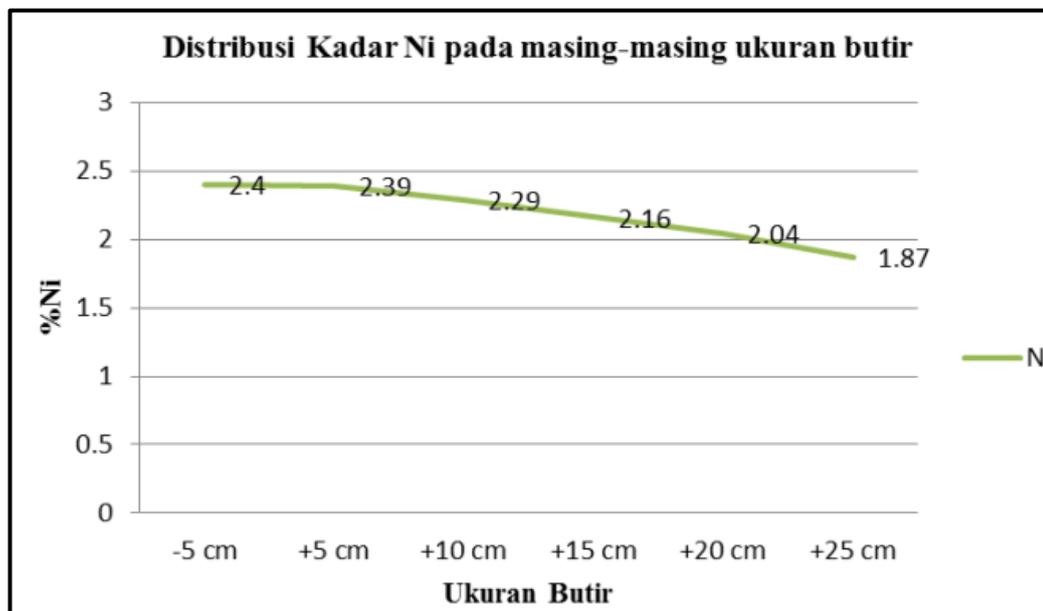
Tabel 4 Tekstur tanah (Saefudin, 1989)

<b>Partikel</b>	<b>Diameter Fraksi (mm)</b>
Pasir sangat kasar ( <i>Very coarse sand</i> )	2,00 – 1,00
Pasir kasar ( <i>Coarse sand</i> )	1,00 – 0,50
Pasir sedang ( <i>Medium sand</i> )	0,50 – 0,25
Pasir halus ( <i>Fine sand</i> )	0,25 – 0,10
Pasir sangat halus ( <i>Very fine sand</i> )	0,10 – 0,05
Debu ( <i>Silt</i> )	0,05 – 0,002
Tanah liat ( <i>Clay</i> )	< 0,002

Hubungan antara ukuran butir dengan kadar Ni, yaitu Semakin halus ukuran butir akan semakin tinggi kadar nikel dan sebaliknya, semakin kasar ukuran butir akan semakin rendah kadar nikelnya (Supriyatna dkk, 2019). Kadar Ni pada berbagai fraksi ukuran butir, menunjukkan bahwa ukuran butir berbanding terbalik dengan kadar nikel, yaitu ukuran fraksi halus memiliki kadar nikel yang tinggi dan sebaliknya ukuran fraksi kasar memiliki kadar nikel yang rendah. Hal ini terjadi karena pada ukuran halus sudah mengalami proses laterisasi yang lebih intensif yang dikontrol oleh proses pelapukan dan akan menyebabkan pengayaan unsur Ni (Winarno dkk, 2002). Tabel 5 menunjukkan perbedaan kadar yang signifikan pada berbagai macam ukuran butir .

Tabel 5 Kadar nikel pada setiap ukuran butir (Winarno dkk, 2022)

Ukuran Butir	Ni (%)
-5 cm	2,4
+5 cm	2,39
+10 cm	2,29
+15 cm	2,16
+20 cm	2,04
+25 cm	1,87



Gambar 11 Persebaran Kadar Nikel pada Berbagai Ukuran Butir (Winarno dkk, 2022)

Berdasarkan Gambar 11, kadar Ni yang ekonomis dijumpai pada ukuran butir yang halus, yaitu mencapai 2,4%. Hasil tersebut juga menunjukkan bahwa pada fraksi boulder/bongkah masih mengandung kadar Ni yang cukup tinggi yaitu 1,87% sehingga fraksi tersebut masih dapat dikelompokkan dalam kategori ekonomis (UBP Nikel Maluku Utara, 2013). Dengan kadar yang masih relatif tinggi tersebut, maka fraksi ukuran *boulder*/bongkah dapat dipertimbangkan untuk pengembangan kegiatan penambangan di masa mendatang.