

SKRIPSI

**ANALISIS PERBANDINGAN KADAR BIJIH LATERIT
ANTARA *EAST BLOCK* DAN *WEST BLOCK* PT VALE
INDONESIA TBK**

Disusun dan diajukan oleh:

**ANANDA NUR LESTARI
D111 19 1063**



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



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS PERBANDINGAN KADAR BIJIH LATERIT ANTARA *EAST BLOCK* DAN *WEST BLOCK* PT VALE INDONESIA TBK

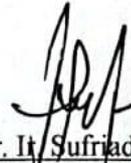
Disusun dan diajukan oleh

ANANDA NUR LESTARI
D111191063

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 17 November 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Ir. Sufriadin, ST., MT.
NIP. 19660817200012010001

Ketua Program Studi,



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



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ananda Nur Lestari
NIM : D111191063
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisis Perbandingan Kadar Bijih Laterit Antara *East Block* dan *West Block*
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, 17 November 2023

Yang Menyatakan



Ananda Nur Lestari



ABSTRAK

ANANDA NUR LESTARI. *Analisis Perbandingan Kadar Bijih Laterit Antara East Block dan West Block PT Vale Indonesia Tbk* (dibimbing oleh Sufriadin)

Penelitian ini dilakukan pada PT Vale Indonesia Tbk pada dua blok penambangan dengan kadar nikel yang berbeda. Perbedaan kadar di antara kedua blok penambangan tersebut menyebabkan sejumlah tantangan yang memengaruhi proses pengolahan bijih nikel dan produksi akhir sehingga perlu dilakukan proses *blending* untuk mencapai spesifikasi pabrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan kadar bijih laterit, hubungan unsur/senyawa pada bijih laterit, faktor yang menyebabkan terjadinya perbedaan kadar bijih laterit serta implikasi kadar bijih terhadap pengolahan bijih. Hasil penelitian menunjukkan bijih nikel laterit pada *East Block* memiliki kadar rata-rata Ni lebih rendah dibandingkan dengan *West Block* yaitu masing-masing 1,78% dan 2,26%. Kadar rata-rata Fe pada *East Block* lebih rendah dibandingkan dengan *West Block* yaitu masing-masing 17,39% dan 22,75%. Kadar rata-rata SiO₂ pada *East Block* lebih rendah dibandingkan dengan *West Block* yaitu masing-masing 33,95% dan 35,69%. Rasio S/M pada *East Block* lebih rendah dibandingkan dengan *West Block* yaitu masing-masing 1,70 dan 2,61. Sebaliknya kadar rata-rata MgO pada *East Block* lebih tinggi dibandingkan dengan *West Block* yaitu masing-masing 22,25 % dan 13,39%.. Hubungan unsur Ni dengan Fe pada *East Block* menunjukkan nilai r sebesar 0,031 lebih rendah dibandingkan dengan *West Block* yang menunjukkan nilai r sebesar 0,286 sedangkan hubungan unsur Ni dengan S/M pada *East Block* menunjukkan nilai r sebesar -0,246 lebih rendah dibandingkan dengan *West Block* yang menunjukkan nilai r sebesar 0,520. Perbedaan tersebut diakibatkan oleh beberapa faktor seperti batuan dasar yang mengandung mineral olivin dengan tingkat serpentinisasi yang berbeda serta mineral pembawa nikel pada kedua blok tersebut selain itu, garnierit banyak ditemukan pada *West Block* sehingga mengakibatkan tingginya kadar nikel pada *West Block* dibandingkan pada *East Block* dengan mineral dominan berupa serpentin. Kadar Fe dan rasio S/M pada *East Block* dan *West Block* tidak sesuai dengan spesifikasi pabrik peleburan karena kadar bijih pada *East Block* terlalu rendah sedangkan kadar bijih pada *West Block* terlalu tinggi. Oleh karena itu, perlu dilakukan proses *blending* untuk menghasilkan kadar yang sesuai dengan spesifikasi pabrik peleburan.

Kata Kunci: Nikel Laterit, Kadar, Koefisien Korelasi, *East Block*, *West Block*



ABSTRACT

ANANDA NUR LESTARI. *Comparative Analysis of Laterite Ore Content Between East Block and West Block PT Vale Indonesia Tbk (supervised by Sufriadin)*

This research was conducted at PT Vale Indonesia Tbk on two mining blocks with different nickel grades. The difference in grade between the two mining blocks causes a number of challenges that affect the processing of nickel ore and the final production, making it necessary to carry out a blending process to achieve factory specifications. This study aims to analyze the comparison of laterite ore grades, element/compound relationships in laterite ore, factors that cause laterite ore grade differences and the implications of ore grade for ore processing. The results show that laterite nickel ore in the East Block has a lower average Ni content compared to the West Block, namely 1.78% and 2.26% respectively. The average Fe content of the East Block is lower than that of the West Block, namely 17.39% and 22.75% respectively. The average SiO₂ content of East Block is lower than that of West Block at 33.95% and 35.69%, respectively. The S/M ratio of the East Block is lower than that of the West Block at 1.70 and 2.61 respectively. On the other hand, the average MgO content of East Block is higher than that of West Block at 22.25% and 13.39%, respectively. The relationship between Ni and Fe in East Block shows an r value of 0.031 which is lower than that of West Block which shows an r value of 0.286 while the relationship between Ni and S/M in East Block shows an r value of -0.246 which is lower than that of West Block which shows an r value of 0.520. The difference is caused by several factors such as bedrock containing olivine minerals with different levels of serpentinization and nickel-bearing minerals in the two blocks. In addition, garnierite is found in West Block, resulting in high nickel content in West Block compared to East Block with dominant minerals in the form of serpentine. The Fe content and S/M ratio of East Block and West Block are not in accordance with smelter specifications because the ore content of East Block is too low while the ore content of West Block is too high. Therefore, it is necessary to carry out a blending process to produce levels that meet the specifications of the smelter.

Keywords: Laterite Nickel, Grade, Correlation Coefficient, East Block, West Block



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	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.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
1.6 Tahapan Kegiatan Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Nikel.....	5
2.2 Nikel Laterit.....	6
2.4 Endapan Nikel Laterit Sorowako.....	13
2.5 Serpentinisasi.....	17
2.6 <i>X-Ray Fluoresence (XRF)</i>	19
2.7 Pengolahan Bijih Nikel Latrit.....	21
2.8 Metode Statistik.....	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	30
3.1 Lokasi Penelitian.....	30
3.2 Pengumpulan Data.....	31
Pengolahan dan Analisis Data.....	31
ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	34
Perbandingan Kadar Bijih Nikel Laterit.....	34



4.2	Hubungan Antara Kadar Ni dengan Fe dan S/M	36
4.3	Faktor Penyebab Perbedaan Kadar Bijih Nikel Laterit	39
4.4	Implikasi Terhadap Pengolahan Bijih	42
KESIMPULAN DAN SARAN		45
5.1	Kesimpulan	45
5.2	Saran	46
DAFTAR PUSTAKA		47



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Profil endapan nikel laterit (Elias, 2002)(Tbk, 2020)	9
Gambar 2 <i>Formation nickel laterite</i> (PT Vale Indonesia Tbk, 2020).....	11
Gambar 3 Profil endapan nikel laterit tipe <i>East Block</i> dan <i>West Block</i>	14
Gambar 4 Profil geologi <i>East Block</i> (PT Vale Indonesia Tbk, 2020).....	15
Gambar 5 Profil geologi <i>West Block</i> (PT Vale Indonesia Tbk, 2020).	15
Gambar 6 Peta Lokasi Penelitian	30
Gambar 7 Diagram alir penelitian.....	33
Gambar 8 Perbandingan Kadar Bijih Laterit	35
Gambar 9 Hubungan Antara Kadar Ni dan Fe pada Bijih <i>East Block</i>	37
Gambar 10 Hubungan Antara Kadar Ni dan Fe pada Bijih <i>West Block</i>	37
Gambar 11 Hubungan Antara Kadar Ni dan S/M pada Bijih <i>East Block</i>	39
Gambar 12 Hubungan Antara Kadar Ni dan S/M pada Bijih <i>West Block</i>	38



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Perbedaan karakteristik batuan penyusun	16
Tabel 2 Interval koefisien korelasi pearson r	28
Tabel 3 Kadar Rata-Rata Data <i>West Block</i>	34
Tabel 4 Kadar Rata-Rata Data <i>East Block</i>	35
Tabel 5 Perbandingan kadar <i>West Block</i> dan <i>East Block</i>	35
Tabel 6 Spesifikasi SSP (<i>PT Vale Indonesia Tbk, 2020</i>).....	43
Tabel 7 Kadar rata-rata <i>East</i> dan <i>West Block</i>	43



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
XRF	<i>X-Ray Flourescence</i>
PGM	<i>Platinum Group Metals</i>
Ph	<i>Potential Hydrogen</i>
Wt	<i>Weight Percent</i>
SSP	<i>Screening Station Product</i>
PPM	<i>Parts Per Million</i>
HPAL	<i>High Pressure Acid Leaching</i>
RKEF	<i>Rotary Kiln Electric Furnace</i>
NPI	<i>Nickel Pig Iron</i>
AL	<i>Acid Leaching</i>
HL	<i>Heap Leaching</i>
R	Koefisien Korelasi
N	Jumlah Data



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Assay <i>East Block</i> Pt Vale Indonesia Tbk	55
Lampiran 2	Data Assay <i>West Block</i> Pt Vale Indonesia Tbk.....	57
Lampiran 3	Perhitungan Kadar Rata-Rata Sampel <i>East Block</i>	59
Lampiran 4	Perhitungan Kadar Rata-Rata Sampel <i>West Block</i>	60
Lampiran 5	Perhitungan Koefisien Korelasi.....	61



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah senantiasa penulis ucapkan puji syukur kehadirat Allah *Subhanahu wa Ta'ala* yang hingga saat ini masih memberikan nikmat iman dan kesehatan, sehingga penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul “Analisis Perbandingan Kadar Bijih Laterit Antara *East Block* dan *West Block* PT Vale Indonesia Tbk” Penyusunan skripsi ini merupakan bentuk dari pemenuhan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana di Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Melalui tulisan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada kepada orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan dukungan moral, doa-doa tulus dan kasih sayang yang mereka berikan selalu menjadi pendorong utama penulis dalam setiap langkah perjalanan akademik ini dan keberhasilan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini adalah buah dari dedikasi dan cinta mereka yang tiada hentinya.

Selanjutnya, penulis ingin mengungkapkan terima kasih kepada PT Vale Indoneisa Tbk atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk melakukan pengambilan data penelitian serta kepada Bapak Kurniawan Edy *Manager of Ore Quality System* PT Vale Indonesia Tbk sekaligus pembimbing kerja praktik yang telah membantu dan memberikan arahan kepada penulis dalam pengambilan data penelitian.

Terima kasih pula penulis ucapkan kepada ibu Dr. Ir. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T. selaku ketua Departemen Teknik Pertambangan. Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing Bapak Dr. Ir. Sufriadin, S.T., M.T yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dengan memberikan banyak masukan dalam proses penyusunan skripsi ini serta kepada seluruh bapak/ibu dosen dan staf administrasi yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada seluruh mahasiswa Teknik Pertambangan khususnya kepada teman-teman IGNEOUZ 2019 yang telah membantu penulis dalam perjalanan perkuliahan selama ini serta senantiasa memberikan dukungan dan semangat kepada penulis dalam proses penyusunan skripsi ini.



Penulis berharap agar skripsi ini dapat digunakan sebagai acuan untuk penelitian yang akan datang sehingga penulis mengarapkan para pembaca memberikan saran dan kritik pada skripsi ini. Tidak lupa dengan seluruh kerendahan hati, penulis meminta maaf apabila terdapat kesalahan dalam penulisan skripsi ini.

Gowa, November 2023

Ananda Nur Lestari



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel laterit merupakan salah satu bahan galian yang sangat ekonomis jika dijumpai dalam cadangan yang besar dengan kadar yang tinggi atau *high grade*. Endapan ini memiliki banyak kegunaan diantaranya sebagai bahan produksi *stainless steel* atau baja tahan karat yang diaplikasikan pada peralatan dapur (sendok dan peralatan memasak), ornamen-ornamen rumah dan gedung, serta komponen industri (Sukandarrumidi, 2007). Bijih nikel laterit berasosiasi dengan banyak logam, terutama serangkaian logam Fe, Ni, Mn, Co, dan Mg (Gao et al., 2021). Endapan nikel laterit terbentuk dari proses pelapukan yang sangat intensif di daerah tropis pada batuan yang mengandung nikel seperti, dunit (olivin), peridotit (olivine+piroksen), dan serpentinit (Golightly,1981).

Proses pelapukan (laterisasi) yang terjadi pada batuan ultramafik seperti peridotit mengakibatkan unsur-unsur yang larut dan terendapkan pada zona bagian bawah laterit, sedangkan untuk unsur dengan mobilitas rendah atau *immobile* mengalami pengayaan secara residual dan sekunder. Proses pembentukan nikel laterit dipengaruhi oleh proses pelapukan nikel laterit yang akan menghasilkan laterit dengan berbagai karakteristik kadar, kimia, dan mineralogi serta ketebalan endapan yang berbeda. Pengaruh lainnya termasuk batuan dasar dengan mineral yang beragam, struktur (*joint*), iklim, proses pelarutan kimia dan vegetasi, waktu, dan topografi. (Hasria, Dkk, 2021).

Nikel di Indonesia menjadi salah satu komoditas masa depan di tengah upaya dunia menekan emisi karbon dari bahan bakar fosil. Permintaan nikel dunia mengalami peningkatan seiring dengan mulai gencarnya pengembangan kendaraan listrik. PT Vale Indonesia Tbk merupakan salah satu perusahaan yang bergerak pada bidang pertambangan dengan produksi utamanya berupa *nickel matte* yang merupakan produk antara untuk digunakan dalam pembuatan nikel dengan kandungan rata-rata 78% nikel, 1%-2% kobalt, serta 20%-21% pengolahan bijih nikel dilakukan melalui proses produksi menggunakan pirometalurgi (PT Vale Indonesia, 2022).



Blok penambangan pada PT Vale Indonesia Tbk dibagi menjadi dua, yaitu *East Block* dan *West Block* dimana keberadaan endapan nikel laterit pada kedua blok tersebut memiliki perbedaan kadar bijih yang mengakibatkan perusahaan perlu melakukan proses *blending* antara bijih *East Block* dan *West Block* guna mencapai kadar yang sesuai dengan spesifikasi pabrik. Bijih dengan kadar yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan oleh pabrik peleburan, saat dimasukkan ke dalam *furnace* atau alat pengolahan lainnya, berpotensi mengancam kondisi *electric furnace* yang digunakan. Oleh karena itu dilakukan penelitian dengan judul Analisis Perbandingan Kadar Bijih Laterit Antara *East Block* dan *West Block* PT Vale Indonesia Tbk.

1.2 Rumusan Masalah

Perbedaan kadar bijih laterit antara *East Block* dan *West Block* dapat menjadi masalah bagi perusahaan karena dengan adanya perbedaan kadar pada kedua blok tersebut, maka perusahaan perlu melakukan proses *blending* untuk mendapatkan kadar bijih yang sesuai dengan spesifikasi umpan pabrik. Berdasarkan hal tersebut maka rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1.2.1 Perbandingan kadar bijih laterit pada *East Block* dan *West Block* PT Vale Indonesia Tbk
- 1.2.2 Hubungan unsur/senyawa pada bijih laterit bijih pada *East Block* dan *West Block*
- 1.2.3 Faktor yang menyebabkan terjadinya perbedaan kadar bijih laterit pada *East Block* dan *West Block* PT Vale Indonesia Tbk.
- 1.2.4 Implikasi kadar bijih laterit terhadap proses pengolahan bijih

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Analisis perbandingan kadar bijih laterit pada *East Block* dan *West Block* PT Vale Indonesia Tbk.

- 1.3.2 Menganalisis hubungan unsur/senyawa pada bijih laterit *East Block* dan *West Block*
- 1.3.3 Menganalisis faktor yang menyebabkan terjadinya perbedaan kadar bijih laterit pada *East Block* dan *West Block* PT Vale Indonesia Tbk.
- 1.3.4 Menganalisis implikasi kadar bijih laterit terhadap proses pengolahan bijih

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mengenai kandungan bijih laterit pada *East Block* dan *West Block* PT Vale Indonesia Tbk, menjadi referensi mengenai kualitas nikel laterit di *East Block* dan *West Block* PT Vale Indonesia Tbk, mengetahui hubungan unsur/senyawa pada bijih laterit menggunakan analisis korelasi pearson serta implikasi kadar bijih laterit terhadap pengolahan.

1.5 Ruang Lingkup

Penelitian ini secara khusus memfokuskan pada kadar rata-rata bijih laterit antara *East Block* dan *West Block*. Analisis yang digunakan yaitu analisis korelasi yang digunakan untuk mengetahui bagaimana hubungan antar variabel yaitu bagaimana hubungan antara Ni dengan Fe dan S/M pada *East Block dan West Block*. Dengan membatasi ruang lingkup pada masalah-masalah ini, diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih terarah dan terfokus pada penelitian yang dilakukan.

1.6 Tahapan Kegiatan Penelitian

Tahapan kegiatan yang dilakukan dalam penyusunan skripsi adalah sebagai berikut:

1.6.1 Persiapan

Tahapan persiapan merupakan tahapan yang berisi kegiatan awal sebelum dilakukan penelitian. Tahapan persiapan terdiri dari perumusan masalah yang akan diteliti dalam kegiatan penelitian dan persiapan administrasi yang terkait dalam penelitian, pengumpulan referensi atau literatur



mengenai masalah yang diteliti agar dapat menunjang penelitian, serta persiapan bahan-bahan yang digunakan pada saat penelitian.

1.6.2 Studi literatur

Studi literatur merupakan kegiatan yang diawali dengan pengumpulan literatur mengenai masalah yang akan diteliti. Bahan literatur ini dapat dikumpulkan dari jurnal-jurnal penelitian maupun dari buku-buku yang berkaitan dengan masalah yang akan dijadikan sebagai bahan penelitian Referensi yang telah didapatkan dijadikan sebagai acuan dalam menyelesaikan masalah serta metode penelitian yang akan kita gunakan.

1.6.3 Pengolahan dan interpretasi data

Tahapan ini meliputi pengumpulan data *assay* dari masing-masing blok penambangan, yang memuat informasi mengenai kadar unsur Ni (Nikel), Fe (Besi), SiO₂ (Silika), dan MgO (Magnesia) pada kedua blok tersebut yang kemudian akan dilakukan analisis statistik menggunakan *Microsoft Excel* untuk membandingkan kadar rata-rata bijih laterit antara kedua blok.

1.6.4 Penyusunan Laporan Tugas Akhir

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

1.6.5 Seminar dan Penyerahan Laporan

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



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nikel

Nikel merupakan salah satu komoditas tambang utama dari negara Indonesia. Pada dasarnya sumber bahan galian nikel di alam dapat dijumpai dalam dua bentuk yaitu nikel primer yang berasal dari pembekuan magma yang bersifat ultra basis dan nikel sekunder yang dihasilkan oleh proses pengkayaan sekunder di bawah zona *water table*. Di Indonesia sumber nikel hanya dijumpai dalam bentuk nikel sekunder atau yang disebut juga sebagai nikel laterit (Isjudarto, A., 2013).

Indonesia menempati urutan ke-enam dari segi potensi cadangan, yaitu memiliki potensi cadangan 5% dari total cadangan dunia. Ini menunjukkan betapa pentingnya Indonesia dalam pertambangan bijih nikel. Produksi nikel saat ini sebagian besar berasal dari jenis sulfida, yang menyumbang 58%, dan lateritik sebanyak 42% dari cadangan nikel dunia saat ini (Dalvi)

Nikel adalah unsur paduan utama dari *stainless steel*, dan mengalami pertumbuhan yang sangat cepat seiring dengan peningkatan permintaan *stainless steel*. Saat ini lebih dari 65% nikel digunakan dalam industri *stainless steel*, dan sekitar 12% digunakan dalam industri manufaktur *super alloy* atau *nonferrous alloy* (Moskalyk, Johnson). Sebuah laporan yang dirilis oleh United States Geological Survey pada Januari 2015 menunjukkan bahwa Indonesia adalah salah satu negara terbesar yang menghasilkan nikel laterit di dunia (USGS 2015).

Nikel terdapat dalam batuan ultramafik yang kaya akan mineral mafik. Proporsi kandungan nikel (Ni) umumnya berkurang dalam mineral mafik yaitu olivin > orthopyroksin > clinopyroksin. Kromit primer dan magnetit juga mengandung nikel dalam jumlah kecil. Kehadiran nikel paling banyak berasal dari pergantian unsur Mg pada struktur olivin. Namun beberapa unsur nikel (Ni) dalam jumlah besar dapat menggantikan besi (Fe) atau atom-atom Fe⁺⁺ dalam olivine (Dkk, 2021).



terdapat dua jenis bijih nikel yang terdapat di alam, yaitu nikel sulfida dan sulfida yang biasa disebut dengan nikel laterit. Nikel sulfida biasanya

ditemukan di belahan bumi subtropis, sedangkan nikel laterit ditemukan di khatulistiwa. Laterit juga memiliki cadangan yang lebih besar di alam daripada nikel sulfida (Prasetyo, 2016). Jumlah kebutuhan logam nikel akan meningkat terus hingga 140-175% pada tahun 2025 (Elskaki et al., 2017). Bijih nikel yang tersedia di alam dalam bentuk senyawa oksida (laterit) sebanyak 75% dan sisanya merupakan sulfida dan saat ini, bijih nikel sulfida sebanyak 58% digunakan dalam industri pengolahan nikel jauh lebih banyak daripada laterit yang hanya digunakan sebanyak 42%. (Dalvi et al., 2004).

Menurut Evans (1993), laterit merupakan sisa dari pelapukan kimia batuan di permukaan bumi, di mana berbagai mineral asli atau primer menjadi tidak stabil karena air dan kemudian larut atau pecah untuk membentuk mineral baru yang lebih stabil. Sebagai batuan induk, laterit sangat penting untuk endapan bijih ekonomi.

2.2 Nikel Laterit

Nikel laterit merupakan produk residual pelapukan kimia pada batuan ultramafik (dunit, peridotit, dan ubahannya (serpentinit)), proses ini dimulai ketika batuan ultramafik tersingkap di permukaan bumi dan proses ini berlangsung selama jutaan tahun. Batuan induk atau asal merupakan komponen yang mempengaruhi pembentukan endapan nikel laterit. (Kurniawan dkk, 2018). Proses pelapukan kimia batuan ultramafik yang menghasilkan pengkayaan unsur Ni, Fe, Mn, dan Co secara residual dan sekunder (Syafrizal et al., 2011; Burger, 1996) Profil dan karakter nikel laterit yang berbeda dihasilkan melalui proses pelapukan batuan ultramafik (Lintjewas dkk, 2019)

Istilah “laterit” bisa diartikan sebagai endapan yang kaya oksida besi, miskin unsur silika dan secara intensif ditemukan pada endapan lapukan pada iklim tropis. Ada juga yang mengartikan nikel laterit sebagai endapan lapukan yang mengandung nikel dan secara ekonomis dapat ditambang. Batuan induk endapan Nikel laterit adalah batuan ultrabasa yang umumnya dari jenis harzburgit

yang kaya unsur ortopiroksen), dunit dan jenis peridotit yang lain. nikel laterit ini ditemukan di daerah Indonesia bagian timur seperti Pulau , pulau-pulau di Maluku Utara maupun di daerah Papua. Di daerah Maba,



Pulau Halmahera, Maluku Utara dijumpai deposit nikel laterit dengan sebaran yang cukup luas (Isjudarto, A., 2013).

Nikel laterit dicirikan dengan 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). Proses lateritisasi sangat dipengaruhi oleh tingkat pelapukan yang tinggi (Tonggiroh et al., 2012). Proses terbentuknya nikel laterit dimulai dari proses pelapukan yang intensif pada batuan peridotit (Sundari dan Woro, 2012), Setelah itu, infiltrasi air hujan akan masuk ke area retakan batuan yang 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. Suatu zona akumulasi dengan pengkayaan seperti Ni, Mn, dan Co akan terbentuk setelah mineral *mobile* lainnya terlarutkan (Golightly, 1979).

Akumulasi endapan nikel umumnya berkembang baik pada tanah yang relatif landai dan tidak berkembang baik pada tanah yang terjal. Topografi memainkan peran penting dalam pengaturan pembentukan profil laterit. (Ahmad, 2009). Produk geokimia endapan laterit tersebut secara vertikal memiliki karakteristik kekhasan memisahkan sifat fisik zona laterisasi yang diakibatkan dari proses geologi tersebut. Sehingga secara umum terbagi menjadi 3 zona yaitu Limonit, Saprolit dan *Bedrock* yaitu sebagai berikut (Ahmad, 2009):

2.2.1 Zona Batuan dasar (*Bedrock*)

Pada bagian bawah profil terdapat zona batuan dasar, juga dikenal sebagai *bedrock*. Batuan ini berasal dari batuan ultramafik yang belum mengalami proses pelapukan. Komposisi kimia batuan memiliki kemiripan terhadap komposisi kimia *bedrock* yang tidak teralterasikan. Terjadinya tekanan hidrostatik pada batuan menyebabkan pembentukan *joint* dan rekahan. sementara sirkulasi air permukaan diresepan melalui *fracture* dan *joint*.



ona Saprolit

ona ini berada di atas lapisan batuan dasar atau *bedrock*.

iasanya telah lapuk sebagian atau seluruhnya. Proses pelapukan ini

terjadi pada *joint* dan *fracture boulder*. Tekstur atau fragment batuan pada batuan dengan tingkat terserpentinisasi yang tinggi, proses pelapukan terjadi pada masa batuan keseluruhan, bukan hanya pada potongan dan retakan. Ini disebabkan oleh lunaknya batuan, yang memungkinkan muka air tanah berfungsi sebagai pelapukan. Pada batuan dengan tingkat terserpentinisasi yang tinggi proses pelapukan tidak hanya berlangsung pada *joint* dan *fracture*, tetapi terjadi pada masa batuan keseluruhan yang disebabkan lunaknya batuan yang memungkinkan muka air tanah terlibat sebagai agen pelapukan. Porositas perlapukan pada zona saprolit sedang-baik, sedangkan densitas material relatif rendah. Proses pelapukan pada boulder terus berlangsung meningkat dimulai dari bagian dalam hingga batas terluar batuan.

2.2.3 Zona limonit

Zona ini terletak di bagian atas profil laterit dan merupakan pembentukan terakhir pelapukan batuan ultrabasa. Ini juga merupakan tempat terkonsentrasinya elemen *non-mobile* yang dihasilkan dari proses pelindian pada batuan ultrabasa. Lapisan permukaan zona limonit bagian atas tersusun oleh sub zona lapisan *iron capping* berwarna merah yang disebut sebagai *red limonite*. Sub zona ini memiliki karakteristik kaya akan mineral hematit terbentuk relatif tinggi dan kondisi asli tekstur batuan tidak teridentifikasi akibat proses pelapukan yang telah berlangsung sempurna. Sedangkan di bagian bawah tanah penutup atau *overburden*, terdapat zona limonit berwarna merah-coklat atau kuning yang biasanya disebut sub zona *yellow limonite* atau *incremental limonite-saprolite* dan mengandung mineral *goethite* dan besi hidroksida.

Proses pembentukan nikel laterit dimulai dengan terjadinya pelapukan yang intens pada batuan peridotit atau batuan induk. Perubahan batuan induk menjadi serpentininit disebabkan oleh larutan hidrotermal yang terjadi selama proses serpentinisasi atau pembekuan magma. Setelah itu terjadi pelapukan kimia dan fisika yang mengakibatkan dekomposisi batuan induk. Adapun menurut Golightly (1981) sebagian unsur Ca, Mg, dan Si akan mengalami dekomposisi rapa terkayakan secara supergen (Ni, Mn, Co, Zn). Atau terkayakan atif (Fe, Cr, Al, Ti, S, dan Cu) (Golightly, 1981).



Proses pelapukan (laterisasi) yang terjadi pada batuan ultramafik seperti peridotit mengakibatkan unsur-unsur yang larut dan terendapkan pada zona bagian bawah laterit, sedangkan untuk unsur dengan mobilitas rendah atau *immobile* mengalami pengayaan secara residual dan sekunder. Proses pembentukan nikel laterit dipengaruhi oleh proses pelapukan nikel laterit yang akan menghasilkan laterit dengan berbagai karakteristik kadar, kimia, dan mineralogi serta ketebalan endapan yang berbeda. Pengaruh lainnya termasuk batuan asal, struktur (*joint*), iklim, proses pelarutan kimia dan vegetasi, waktu, dan topografi. (Hasria, Dkk, 2021).

SCHEMATIC LATERITE PROFILE	COMMON NAME	APPROXIMATE ANALYSIS (%)			
		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 4	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 1 Profil endapan nikel laterit (Elias, 2002)



batuan beku ultramafik adalah batuan beku yang secara kimia mengandung kurang dari 45% SiO₂ dari komposisinya. Kandungan mineralnya

didominasi oleh mineral-mineral berat dengan kandungan unsur-unsur seperti Fe dan Mg (Ahmad, 2006). Menurut McDonough dan Rudnick (1998), batuan ultrabasa umumnya tersusun atas olivin, ortopiroksen, klinopiroksen, dan fase alumina baik plagioklas, spinel atau garnet tergantung kesetimbangan suhu dan tekanannya. Batuan ultramafik merupakan batuan yang menjadi sumber bagi endapan nikel laterit dan nikel sulfida. Selain sebagai sumber nikel, batuan ultramafik juga dapat menjadi induk dari kromit, logam dasar, kelompok logam platinum (PGM), intan, dan bijih besi laterit (Kadarusman, 2009).

Menurut Gill (2010) batuan ultramafik yang paling segar tersusun seluruhnya oleh mineral *hydrous* seperti *hornblend* yang terbentuk pada batuan ultrabasa, yang menunjukkan bahwa adanya air selama proses kristalisasi. Batuan ultrabasa dan ultramafik yang berasal dari mana pun cenderung mengalami perubahan hidrotermal. Mineral olivin dan ortopiroksen akan bereaksi dengan larutan fluida panas, membentuk mineral serpentin. Serpentin adalah batuan ultrabasa yang didominasi oleh mineral olivin yang akan berubah menjadi serpentin. Dalam batuan ultrabasa metamorfosis tingkat rendah menghasilkan batuan serpentin atau *talk*. Beberapa mineral dominan dalam batuan ultrabasa adalah plagioklas, olivin, orthopiroksen, klinopiroksen, spinel, garnet, dan spinel. (Gill, 2010).

Kebanyakan batuan ultramafik mempunyai karakteristik baik sebagai batuan beku plutonik maupun batuan metamorf, dan batuan yang ditemukan di kerak bumi mencakup jenis batuan beku dan metamorf, sedangkan yang dari mantel adalah batuan metamorf. Banyak batuan ultramafik saat ini yang tersingkap di permukaan bumi hanya sedikit, dan sangat terserpentinisasi selama *emplacement* tektonik atau pengangkatan (Ismawan, 2015). Batuan ultramafik (terutama peridotit dan serpentin) terdistribusi di seluruh dunia (Goff & Lackner 1998), yang paling sangat besar dan tersebar luas adalah peridotites alpine yang membentuk alas sikuen ofiolit, yaitu lempung kerak samudera terangkat dan tererosi sepanjang zona subduksi sekarang dan masa lalu, dan batas lempeng

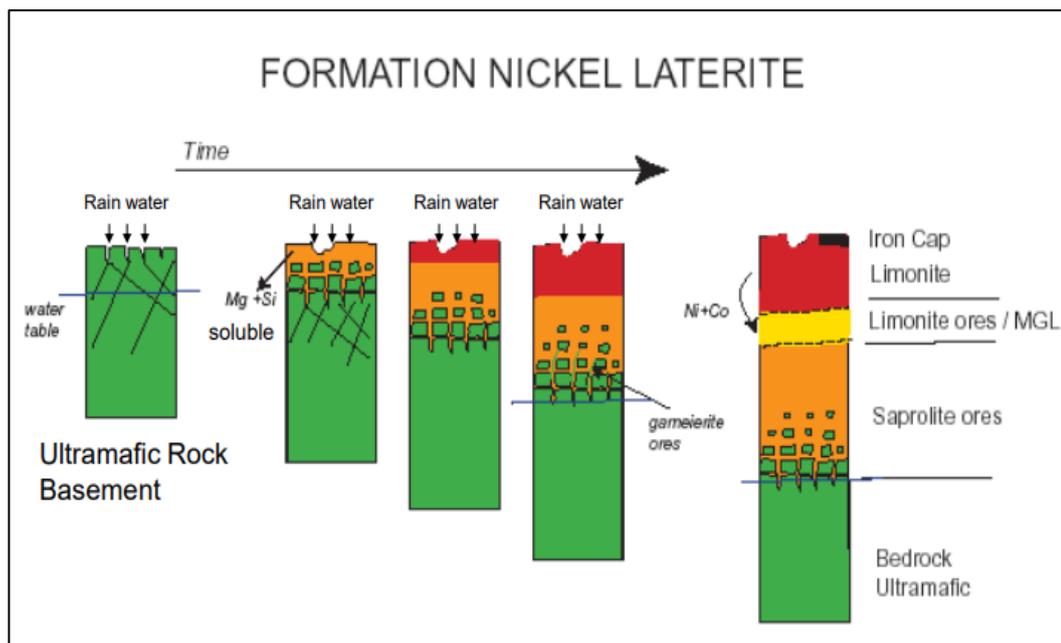


1 1977).

2 sebagian besar batuan ultramafik awalnya peridotit, terbentuk di mantel

3 1 kemudian berubah menjadi serpentin, secara sempurna ataupun

sebagian, oleh fluida kerak selama perjalanannya ke posisi tektoniknya saat ini. Batuan ultramafik di bagian kerak bumi yang tampak, khas terdapat dalam tubuh relatif kecil di jalur sempit orogen sedang hingga kuat. Singkapan batuan ultramafik dapat menempati ratusan kilometer persegi atau kira-kira sekecil sampel setangan yang tergabung ke dalam zona sesar. Batuan ultramafik, mulai dari komposisi dunit sampai harzburgit hingga lherzolite, cenderung menunjukkan baik *cumulate*, *tectonite* maupun penggantian tekstur (Kubo, 2002).



Gambar 2 Formation nickel laterite (PT Vale Indonesia Tbk, 2020).

Batuan induk endapan Nikel laterit adalah batuan ultrabasa; umumnya dari jenis harzburgit (peridotit yang kaya unsur ortopiroksen), dunit dan jenis peridotit yang lain. Endapan nikel laterit ini ditemukan di daerah Indonesia bagian timur seperti Pulau Sulawesi, pulau-pulau di Maluku Utara maupun di daerah Papua. Di daerah Maba, Pulau Halmahera, Maluku Utara dijumpai deposit nikel laterit dengan sebaran yang cukup luas. Endapan nikel di daerah ini terbentuk bersama mineral silikat kaya unsur Mg (mis; olivin).

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan bijih nikel laterit ini adalah (Sundari, 2012):



batuan asal, adanya batuan asal merupakan syarat utama untuk terbentuknya endapan nikel laterit, batuan asalnya adalah batuan ultrabasa. dalam hal ini pada batuan ultrabasa terdapat elemen Ni yang paling

banyak di antara batuan lainnya dan mempunyai mineral-mineral yang paling mudah lapuk atau tidak stabil (seperti olivin dan piroksin), mempunyai komponen-komponen yang mudah larut dan memberikan lingkungan pengendapan yang baik untuk nikel.

- b. Iklim, adanya siklus musim kemarau dan musim penghujan dimana terjadi kenaikan dan penurunan permukaan air tanah juga dapat menyebabkan terjadinya proses pemisahan dan sekaligus akumulasi unsur-unsur. Perbedaan temperatur yang cukup besar akan membantu terjadinya pelapukan mekanis, dimana akan terjadi rekahan-rekahan dalam batuan yang akan mempermudah proses atau reaksi kimia pada batuan.
- c. Reagen-reagen kimia dan vegetasi, maksud dari reagen-reagen kimia adalah unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang membantu mempercepat proses pelapukan. Air tanah yang mengandung CO₂ memegang peranan penting di dalam proses pelapukan kimia. Asam-asam humus menyebabkan dekomposisi batuan dan dapat mengubah pH larutan. Dalam hal ini, vegetasi akan mengakibatkan penetrasi air dapat lebih dalam dan lebih mudah dengan mengikuti jalur akar pohon-pohonan, akumulasi air hujan akan lebih banyak, humus akan lebih tebal keadaan ini merupakan suatu petunjuk, dimana hutannya lebat pada lingkungan yang baik akan terdapat endapan nikel yang lebih tebal dengan kadar yang lebih tinggi.
- d. Topografi, keadaan topografi setempat akan sangat mempengaruhi sirkulasi air beserta reagen-reagen lain. Untuk daerah yang landai, maka air akan bergerak perlahan-lahan sehingga akan mempunyai kesempatan untuk mengadakan penetrasi lebih dalam melalui rekahan-rekahan atau pori-pori batuan. Akumulasi endapan umumnya terdapat pada daerah-daerah yang landai sampai kemiringan sedang, hal ini menerangkan bahwa ketebalan pelapukan mengikuti bentuk topografi. Pada daerah yang curam, secara teoritis, jumlah air yang meluncur (*run off*) lebih banyak daripada air yang meresap ini dapat menyebabkan pelapukan kurang intensif.



struktur yang sangat dominan adalah struktur kekar (*joint*) dibandingkan rhadap struktur patahannya. Seperti diketahui, batuan beku mempunyai porositas (kemampuan batuan untuk meloloskan air) dan permeabilitas

(kemampuan batuan untuk menahan air) yang kecil sekali sehingga penetrasi air sangat sulit, maka dengan adanya rekahan-rekahan tersebut akan lebih memudahkan masuknya air dan berarti proses pelapukan akan lebih intensif.

- f. Waktu yang cukup lama akan mengakibatkan pelapukan yang cukup intensif karena akumulasi unsur nikel cukup tinggi. Waktu lateritisasi tiap ketebalan 1 mm membutuhkan waktu sekitar 100 tahun,

2.3 Endapan Nikel Laterit Sorowako

Bijih nikel laterit merupakan jenis bijih nikel yang ditemukan di wilayah tengah dan timur Sulawesi, tepatnya di Daerah Sorowako. Berikut merupakan penampang lapisan bijih laterit nikel daerah Sorowako (Ahmad, 2005):

- a. Lapisan Tanah Penutup (*Overburden*)

Bagian atas permukaan terdapat lapisan tanah penutup. Kondisi fisik Lunak, berwarna coklat kemerahan hingga gelap serta memiliki kadar air 25% hingga 35% dan kadar nikel kecil 1,3% dengan ketebalan berkisar antara 1–12 meter.

- b. Lapisan Limonit Berkadar Menengah (*Medium Grade Limonit*)

Lapisan ini terletak di bagian atas profil laterit yang kuning kecoklatan dan agak lunak, memiliki kadar, zona limonit mewakili produk akhir dari pelapukan tropis batuan ultramafik dan konsentrasi residu dari unsur-unsur yang tidak dapat bergerak. Zona limonit juga bertingkat-tingkat dimana bagian paling atas dari zona ini terpapar oleh efek oksidasi dari udara dan membawa sejumlah hematit. Material berwarna merah atau merah marun ini umumnya disebut sebagai *iron cap* ketika diinduksi dengan kuat dan sebagai *iron shot* ketika dipecah menjadi potongan-potongan kecil. Pada lapisan ini mengandung besi yang sebagian besar dalam bentuk goethite dan limonit.

- c. Zona Saprolit

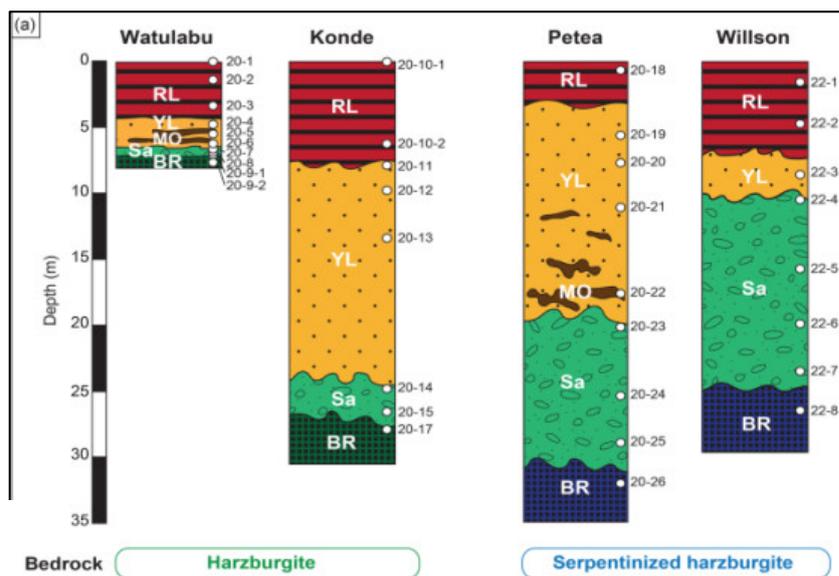
Lapisan ini terletak di atas batuan dasar yang tidak berubah, zona saprolit terdiri dari batuan yang sebagian sampai seluruhnya terurai di bawah pengaruh pelapukan tropis. Di dalam zona saprolit, pelapukan batuan besar



semakin meningkat ke arah atas. Magnesia, silika dan alkali yang larut dihilangkan dengan cepat dan meninggalkan konsentrasi sisa seskuoksida besi, alumina, krom dan mangan. Nikel pada zona saprolit sebagian merupakan residu tetapi sebagian besar merupakan pengayaan sekunder. Air tanah yang bersifat asam melarutkan nikel di bagian atas profil laterit dan menyimpannya di zona saprolit di mana peningkatan alkalinitas air secara tiba-tiba (akibat pemecahan olivin dan pelepasan magnesia) membuat nikel terlarut menjadi tidak dapat larut. Lapisan bijih terdapat bersama batuan yang keras atau rapuh sebagian saprolit dan lapisan ini merupakan lapisan yang bernilai ekonomis untuk ditambang.

d. Zona Batuan Dasar (*Bedrock/Blue Zone*)

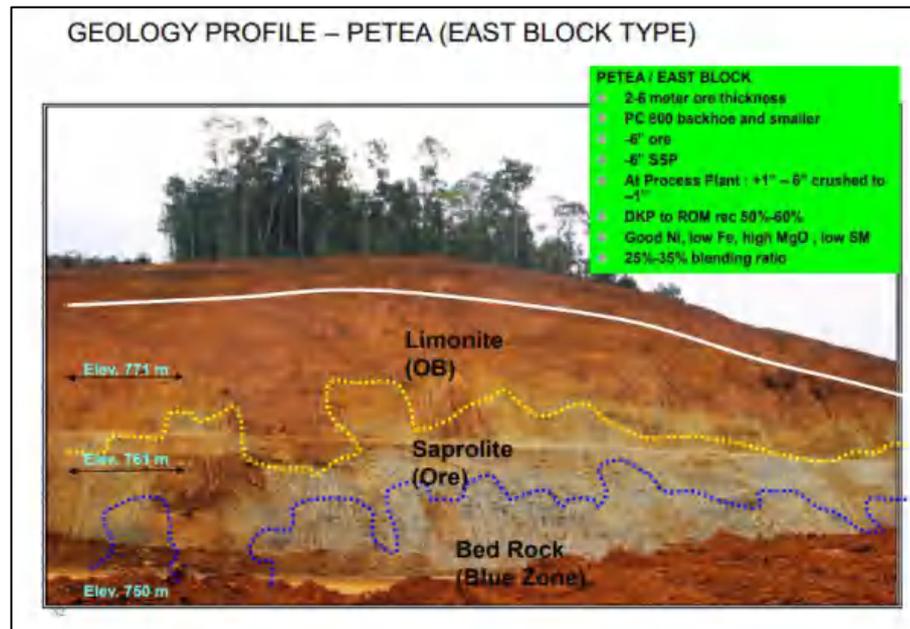
Lapisan ini terletak di bagian paling bawah dari profil laterit, zona batuan dasar menandai batuan ultramafik asli yang belum terpengaruh oleh proses pelapukan tropis. Komposisi kimiawi batumannya sangat mirip dengan komposisi batuan dasar yang belum berubah. Sambungan dan rekahan masih dalam kondisi yang baru jadi dan belum terbuka secara signifikan karena tekanan hidrostatik dari material di atasnya. Selain itu, air tanah yang merembes telah kehilangan hampir semua keasamannya pada saat mencapai zona batuan dasar dan dengan demikian tidak mampu mempengaruhi komponen mineral sampai tingkat yang signifikan.



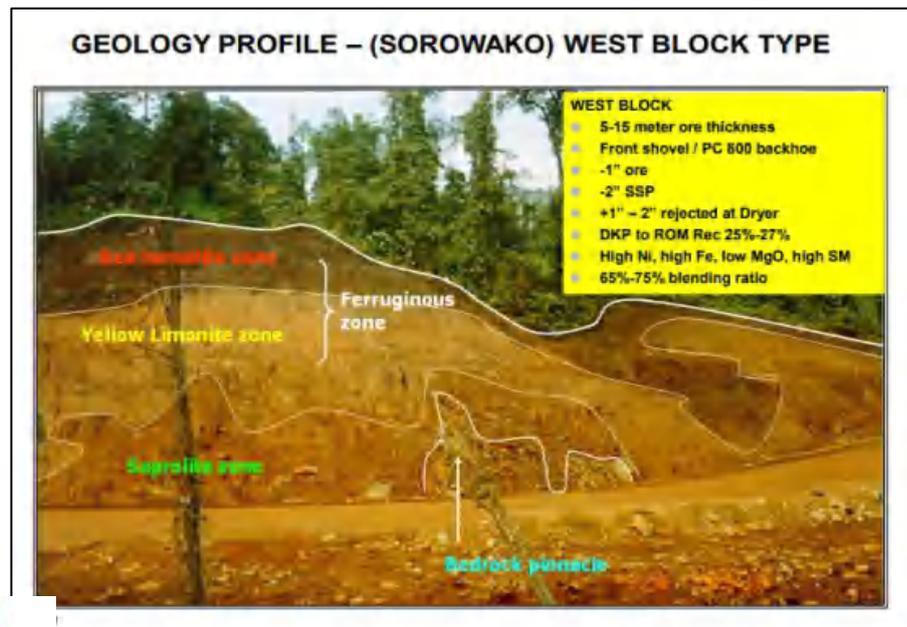
Gambar 3 Profil endapan nikel laterit tipe *West Block* dan *East Block* (Ito, A dkk, 2021)



Gambar 3 merupakan profil endapan nikel laterit tipe *West Block* yang diwakili oleh *hill* Watulabu dan Konde sedangkan untuk tipe *East Block* diwakili oleh *hill* Konde dan Wilson yang terletak di daerah Pomalaa Sulawesi Tenggara. Profil geologi pada PT Vale Indonesia dapat dilihat pada Gambar 4 untuk profil *East Block* (Sorowako) dan Gambar 5 untuk profil *West Block*.



Gambar 4 Profil geologi *East Block* (PT Vale Indonesia Tbk, 2020).



Gambar 5 Profil geologi *West Block* (PT Vale Indonesia Tbk, 2020).



Perbedaan karakteristik batuan penyusun pada *East Block* dan *West Block* ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Perbedaan karakteristik batuan penyusun (PT Vale Indonesia Tbk, 2020)

<i>East Block</i>	<i>West Block</i>
Batuan terdiri atas Harzburgit dan peridotit	Batuan terdiri atas Harzburgit dan Dunit
Tingkat serpentinisasi medium – tinggi	Tidak/sedikit mengalami serpentinisasi
Kandungan nikel lebih rendah dibanding dengan <i>West Type</i> dengan S/M yang rendah	Kandungan nikel tinggi dengan S/M yang relatif lebih tinggi dibanding dengan <i>East Type</i> .
Sifat material relatif tidak keras menyebabkan kesulitan dalam <i>quarry</i>	Sifat material yang relatif keras menyebabkan kesulitan dalam penambangan
Kandungan olivin rendah (<20%)	Kandungan olivin tinggi (>20%)

Kualitas bijih nikel laterit memiliki peranan krusial dalam keberhasilan proses pengolahan di PT Vale Indonesia Tbk. Spesifikasi bijih nikel laterit yang sesuai dengan pabrik pengolahan menjadi faktor penentu utama dalam mencapai hasil akhir yang berkualitas tinggi. Parameter-parameter seperti kadar nikel, kadar air serta komposisi mineral menjadi pedoman penting dalam memastikan bahwa bijih yang diolah memiliki karakteristik yang optimal untuk melalui serangkaian tahapan pengolahan yang kompleks dan menghasilkan produk akhir yang memenuhi standar kualitas yang ketat. SSP (*Screening Station Product*) merupakan produk hasil pengolahan pada *screening station* yang harus selalu *On spec* agar dapat menurunkan variasi “*ore chemistry*” sehingga proses peleburan di pabrik lancar dan kandungan nikel di *slag* rendah dan jika *ore* tidak “*on spec*” yaitu jika Fe terlalu rendah atau terlalu tinggi maka titik lebur *slag* tinggi, jika S/M terlalu rendah maka dinding *furnace* akan menebal (titik lebur *slag* tinggi) dan jika S/M terlalu tinggi dapat mengakibatkan dinding *furnace* bocor. Spesifikasi pabrik *ore* yang dibutuhkan yaitu sebagai berikut ini (PT Vale Indonesia Tbk, 2020):



komposisi Kimia (Fe dan S/M) *ore* harus berada dalam limit tertentu, tidak boleh terlalu tinggi dan tidak boleh terlalu rendah.

- b. Komposisi kimia di stockpile tidak boleh terlalu bervariasi
- c. Ukuran SSP (*Screening Station Product*) harus <6 inchi
- d. *Retention Time*, SSP harus sudah cukup kering untuk bisa di *feeding* ke *Dryer*.

2.4 Serpentinisasi

Serpentinisasi menurut Palandri dan Reed (2004) adalah suatu reaksi eksotermis, hidrasi di mana air bereaksi dengan mineral mafik seperti olivin dan piroksen untuk menghasilkan lizardit, antigorit dan atau krisotil. Menurut Ahmad (2006) ada beberapa hal terjadinya proses serpentinisasi adalah adanya penambahan air, adanya pelarutan magnesia (atau penambahan silika), adanya pelepasan besi dalam olivin (Fe, Mg), konversi besi yang lepas dari ikatan ferro (Fe^{2+}) menjadi ferri (Fe^{3+}) untuk membentuk magnetit berbutir halus. Akibatnya batuan terserpentinisasi umumnya akan menjadi lebih magnetik.

Peran atau kemunculan mineral serpentin pada batuan dasar penghasil laterit terkadang memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap karakteristik tanah laterit yang ada. Secara umum batuan dasar penghasil tanah laterit merupakan batuan-batuan ultramafik dimana batuan yang rendah akan unsur Si, namun tinggi akan unsur Fe, Mg dan terdapat unsur Ni yang berasal langsung dari mantel bumi. Kehadiran mineral serpentin pada batuan ultramafik menjadi suatu peranan penting dalam pembentukan karakteristik tanah laterit yang ada terutama pada pengkayaan unsur logam Ni pada tanah laterit. Proses serpentinisasi akan menyebabkan perubahan tekstur mineralogi dan senyawa pada mineral olivin maupun piroksen pengurangan atau perubahan komposisi unsur Mg, Ni dan Fe pada mineralnya (Kurniawan dkk, 2018).

Genetik pembentukan serpentin dapat disebabkan oleh kondisi dan lingkungan yang bekerja di lapangan yaitu sebagai berikut (Ahmad, 2006):

- a. Proses hidrotermal metamorfosis dari kerak samudera, proses ini mungkin mekanisme yang paling umum untuk menghasilkan serpentin dalam mlah yang besar. Karena berasosiasi dengan subduksi melange dan jalur ogenik.



- b. Tektonik yang meliputi sesar dan zona kekar, sesar dan zona kekar menjadi salah satu akses yang mudah untuk terjadinya mekanisme hidrotermal.
- c. Serpentin sekunder dalam profil laterit, meskipun jelas serpentin adalah hasil pembentukan dari proses hidrotermal, dengan temperatur lebih dari 200°C, serpentin ini juga bersifat sekunder berupa mineral serpentin yang berkembang pada lingkungan laterit

Menurut Ahmad (2006) kelompok mineral olivin yaitu *forsterite*, *chrysolite*, dan *fayalit* sangat rentan terhadap perubahan oleh cairan hidrotermal dan proses pelapukan. Reaksi umum yang melibatkan hidrasi, silisifikasi, oksidasi dan karbonasi. Produk alterasi pada umumnya adalah serpentin, klorit, *amphibole*, *karbonate*, oksida besi, dan talk. Umumnya ada beberapa faktor dalam alterasi hidrotermal yang menyebabkan perubahan olivin menjadi serpentin. Ada empat asal pembentukan serpentin, yaitu:

- a. Dalam kondisi yang stabil terbentuk krisotil dengan struktur berserabut.
- b. Dalam kondisi di bawah tekanan, terbentuk *antigorite* dengan struktur berlapis.
- c. Dalam kondisi tertentu, terbentuk serpophit dengan *structureless*. Proses serpentinisasi olivin membutuhkan sejumlah air, *leaching* dari magnesit (atau sejumlah silika) dan pelepasan besi (Mg,Fe) dalam olivin.
- d. Perubahan dari pengurangan besi dari *ferrous* menjadi ferri membentuk magnetit berbutir halus. Pada umumnya batuan yang terserpentinisasi membentuk magnetit.

Pembentukan endapan nikel laterit erat kaitannya dengan proses serpentinisasi, proses serpentinisasi yang terjadi pada batuan peridotit akibat pengaruh larutan hidrotermal, akan mengubah batuan peridotit menjadi batuan serpentin atau batuan serpentin peridotit. Sedangkan proses kimia dan fisika dari udara, air serta pergantian panas dingin yang bekerja kontinu, menyebabkan disintegrasi dan dekomposisi pada batuan induk. proses serpentinisasi bisa

pengaruhi nilai suatu kadar Ni pada endapan nikel laterit (Ahmad, 2006).

penentuan tingkat serpentinisasi pada batuan ultramafik dapat dibedakan megaskopis dan mikroskopis. Secara megaskopis, batuan ultramafik grup



peridotit berdasarkan persentase serpentin. Pada batuan yang tidak memiliki kandungan serpentin batuan akan cenderung lebih berwarna cerah dan hanya akan tampak mineral-mineral olivin dan piroksin. Sedangkan semakin tinggi kandungan mineral serpentin batuan akan cenderung berwarna lebih gelap. Penentuan tingkat serpentinisasi secara mikroskopis dilihat berdasarkan persentase mineral serpentin maka terdapat 3 jenis terserpentinisasi, yaitu serpentinisasi kuat (mineral serpentin 55%-75%), serpentinisasi sedang (mineral serpentin 35%-50%), serpentinisasi lemah (mineral serpentin <15%) (Ahmad, 2006).

2.5 *X-Ray Fluorescence (XRF)*

Pengujian dengan XRF adalah analisis non deskriptif untuk memperkirakan kandungan unsur-unsur dalam sampel gerus berupa padatan. XRF merupakan teknik analisis yang cepat dan memiliki hasil kuantitatif untuk multi elemen dengan akurasi yang baik. Dalam prosesnya, analisis XRF diperoleh dari tumbukan atom-atom pada permukaan sampel oleh sinar-X dari sumber sinar X. Saat penembakan sinar-X ke sampel, sebagian sinar akan diabsorpsi dan dihamburkan. Pada saat sinar-X diabsorpsi oleh atom dengan mentransfer energi ke elektron yang lebih dalam disebut efek fotolistrik. Perpindahan ini menyebabkan ketidakstabilan atom, sehingga memicu perpindahan elektron dari kulit luar ke dalam yang menghasilkan emisi sinar-X karena adanya perbedaan dua tingkat energi (Jafar, 2017).

Analisis XRF juga dapat mengidentifikasi elemen major, seperti Si, Ti, Al, Fe, Na, K, P, Mg, Ca dan Mn serta elemen minor (> 1ppm), seperti Ce, Ni, Cu, Zn. Elemen major umumnya berkaitan dengan mineral pembentukan batuan. Dalam analisis XRF, tidak dapat ditentukan unsur pembentuknya, komposisi kuantitatif pada atom penyusunnya. Tahapan kerja untuk analisis XRF terdiri dari tahapan preparasi dan pengujian. Tahapan pengujian dibantu dengan komputer untuk akannya (Jafar, 2017).



analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan an sinar-X karakteristik yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik. Efek

fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target (sampel) terkena sinar berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-X). Bila energi sinar tersebut lebih tinggi daripada energi ikat elektron dalam orbit K, L atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. Dengan demikian atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X. Sinar-X yang dihasilkan merupakan suatu gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu (*discreet*) yang berasal dari bahan sasaran yang tertumbuk elektron. Jenis spektrum *discreet* yang terjadi tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan. Spektrum ini dikenal sebagai spektrum sinar-X karakteristik (Agus Jamaludin, 2012)

Spektrometri XRF memanfaatkan sinar-X yang dipancarkan oleh bahan yang selanjutnya ditangkap detektor untuk dianalisis kandungan unsur dalam bahan. Bahan yang dianalisis dapat berupa padat masif, pelet, maupun serbuk. Analisis unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan. Sinar-X yang dihasilkan dari peristiwa seperti peristiwa tersebut diatas ditangkap oleh detektor semi konduktor Silikon Litium (SiLi) (Sari dkk, 2014)

Sinar-X yang dihasilkan merupakan gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu (*discreet*) yang berasal bahan sasaran yang tertumbuk elektron. Jenis spektrum *discreet* yang terjadi tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan. Spektrum ini dikenal dengan spektrum sinar-X karakteristik. Spektrometri XRF memanfaatkan sinar-X yang dipancarkan oleh bahan yang selanjutnya ditangkap detektor untuk dianalisis kandungan unsur dalam bahan. Bahan yang dianalisis dapat berupa padat masif, pelet, maupun serbuk (Munasir, 2012).

Prinsip kerja alat XRF adalah sinar-X fluoresensi yang dipancarkan oleh sampel dihasilkan dari penyinaran sampel dengan sinar-X primer dari tabung (*X-Ray Tube*), yang dibangkitkan dengan energi listrik dari sumber sebesar 1200 volt. Bila radiasi dari tabung sinar-X mengenai suatu elektron dalam bahan tersebut akan tereksitasi ke tingkat energi yang



lebih rendah, sambil memancarkan sinar-X karakteristik. Sinar-X karakteristik ini ditangkap oleh detektor diubah ke dalam sinyal tegangan (*voltage*), diperkuat oleh *preamp* dan dimasukkan ke *analyzer* untuk diolah datanya. Energi maksimum sinar-X primer (ke-V) tergantung pada tegangan listrik (kVolt) dan kuat arus (μ Ampere). Fluoresensi sinar-x tersebut dideteksi oleh detektor SiLi (Agus Jamaludin, 2012).

2.6 Pengolahan Bijih Nikel Latrit.

Ada dua jalur proses pengolahan laterit untuk memasok kebutuhan nikel dunia, yaitu *hydrometalurgi* dan *pyrometalurgi* (smelting). *Hydrometalurgi* digunakan untuk mengolah laterit kadar rendah dengan kandungan Ni < 1,5%. Laterit kadar rendah tersebut terdiri dari limonit dan saprolit kadar rendah. Secara komersial ada dua proses untuk mengolah laterit kadar rendah, yaitu proses Caron (*Ammonia Leaching*) dan HPAL/PAL (*High Pressure Acid Leaching*). Pada umumnya proses Caron digunakan untuk memproduksi NiO sedangkan proses HPAL/PAL untuk memproduksi NiS. *Pyrometalurgi* digunakan untuk mengolah saprolit berkadar nikel tinggi ($\text{Ni} \geq 1,8\%$ untuk Indonesia) untuk memproduksi ferro nikel (FeNi) atau nikel *matte* (Ni *matte*). Di Sulawesi Tenggara sudah ada pabrik pengolahan laterit menggunakan jalur *pyrometalurgi* untuk memproduksi FeNi (ferro nikel) oleh PT Aneka Tambang di Pomalaa dan nikel *matte* oleh PT Vale Indonesia di Sorowako (Prasetyo, 2016).

Proses pengolahan batuan nikel laterit melalui proses ekstraksi nikel berbasis laterit diantaranya:

2.6.1 *Pyrometallurgy*

Bahan umpan yang digunakan ialah laterit jenis saprolit. Selanjutnya saprolit akan *discreening*, *crushing* dan *blending* terlebih dahulu. Lalu bijih dimasukkan ke dalam *rotary kiln* atau *vertical shaft reduction furnace* dan mengalami pada temperatur 1000⁰C. Selama proses ini, air kristal tereduksi diikuti dengan reduksi nikel dan sebagian besi ke dalam *metallic state*. Kemudian,

si hasil kalsinasi dengan cara direaksikan dengan sulfur dalam *electric Sulphur* dapat ditambahkan baik dalam bentuk unsur maupun dalam *ypsum* atau pirit. Akibatnya, terak yang mengandung komponen oksida



dari bijih dan sulfida nikel terbentuk. Konsentrat yang berisi 30-35% nikel, kemudian dibawa ke *converter*, di mana udara ditiupkan ke dalam converter, sehingga mengoksidasi besi. Konsentrat akhir yang mengandung 75-78% Ni. Proses selanjutnya di dalam *electric arc furnace* pada proses ini, bijih pertama dipanaskan dan dikalsinasi untuk menghilangkan uap air dan air yang berikatan secara kimia, kemudian diproses langsung ke tanur listrik dan mengalami reduksi dan mencair pada temperatur sekitar 1550°C. Hampir semua nikel dan sebagian besar besi tereduksi pada tahap ini dan paduan *Ferronickel* terbentuk, yang biasanya mengandung sekitar 25% Ni. Proses terakhir yaitu memurnikan *crude Ferronickel* menjadi produk yang dapat dijual. Proses pemurnian yang dilakukan yaitu mengeluarkan *crude FeNi* dari tanur listrik ke dalam *ladle*, dimana zat *additive* seperti *soda ash*, *lime* dan *calcium carbide* ditambahkan ke dalam *crude FeNi* untuk menghilangkan unsur-unsur pengotor (Li, 1999).

Tahapan proses utama ekstraksi nikel secara pirometalurgi yaitu sebagai berikut (Setiawan, 2016):

- a. Pengerinan (*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 ferronikel dari hasil sampingnya yaitu *slag* besi magnesium silikat.
- d. *Refining* yaitu eliminasi unsur minor yang tidak dikehendaki dari produk ferronikel untuk dapat memenuhi kebutuhan pasar.

Proses pirometalurgi bijih laterit secara komersial saat ini secara garis besar terdiri atas (Setiawan, 2016):

- a. *Rotary Kiln Electric Furnace* (RKEF)

Proses RKEF banyak digunakan untuk menghasilkan ferronikel dan nikel *matte*. Proses ini diawali dengan pengeringan kandungan moisture hingga 5% melalui proses pretreatment. Pada proses tersebut, bijih laterit keringkan dengan *rotary dryer* pada temperatur 250°C hingga kandungan *moisture* mencapai 15-20%. Produk dari *rotary dryer*



selanjutnya masuk ketahap 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 ferronikel. Pada *electric furnace* terjadi pemisahan ferronikel dari terak silika-magnesia, terjadi Reduksi nikel oksida dan besi oksida kalsin menjadi nikel logam, dan pelelehan dan pelarutan nikel dalam ferronikel. *Slag* merupakan agregat bahan sisa hasil pembuangan dari peleburan menggunakan *furnace*. Komposisi kimia yang sangat dipertimbangkan pada penggunaan *furnace* yaitu persentase kadar unsur Besi (Fe) dan rasio Silika/Magnesia (S/M) karena dapat mengontrol kekentalan *slag* dan titik lebur pada *furnace*. Proses RKEF merupakan proses 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

b. *Nippon Yakin Oheyama Process*

Nippon Yakin Oheyama Process merupakan proses reduksi langsung *garnierite ore* yang menghasilkan ferronikel 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 ferronikel yang disebut luppen. Hasil proses tersebut kemudian didinginkan cepat dalam air (*quenching*) dan luppen yang berukuran 2-3 mm dengan *grade* 22% Ni dan 0.45% Co dipisahkan dari raknya melalui proses *grinding*, *screening*, *jigging*, dan *magnetic paration*. *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 ferronikel karena tidak dibutuhkan energi yang tinggi pada proses pemisahan ferronikel 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.

c. *Nickel Pig Iron* (NPI)

Nickel Pig Iron diproduksi di china mulai tahun 2006 untuk menjawab tingginya harga dan permintaan nikel. *Nickel Pig Iron* (NPI) merupakan ferronikel yang memiliki kadar nikel yang rendah (1,5-8%). Pembuatan NPI dilakukan dengan *mini blast furnace* dan *electric arc furnace* (EF). Proses produksi NPI pada *mini blast furnace* menggunakan kokas sebagai reduktor dan sumber energi. Karbon akan mereduksi besi sehingga kandungan FeO di dalam terak akan sangat kecil. Pada proses ini juga ditambahkan bahan imbuh 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.



ydrometallurgy

ahan umpan yang digunakan adalah limonit. Ada 4 langkah yang utama, ngeringan bijih dan *grinding*, *reduction roasting*, *leaching* dengan

menggunakan larutan *ammonium carbonate*, dan *metal recovery*. Pada proses ini *reduction roasting* merupakan proses yang sangat penting. Temperatur reduksi harus dikontrol dengan baik agar mendapatkan *recovery nikel* dan *cobalt* secara maksimal. Kalsinasi dilakukan pada *temperature* 850⁰C. Selanjutnya hasil kalsinasi akan melalui proses *amonia leaching* pada *hot temperatur* sekitar 150⁰-2000C. Proses ini diutamakan untuk bijih laterit jenis limonit. Ketika proses ini untuk bijih serpentit atau bijih laterit yang mengandung besi dengan kadar rendah serta magnesium dengan kadar yang tinggi, maka *recovery* nikel akan menurun secara signifikan. Dikarenakan magnesium lebih dominan untuk bereaksi dengan silika dan NiO, hal ini membuat sebagian besar NiO akan tidak tereduksi ketika proses reduksi roasting. Selain *caron process* masih terdapat beberapa proses *hidrometalurgy* yang digunakan dalam pengolahan nikel laterit yakni HPAL (*high pressure acid leaching*), AL (*Atmospheric leaching*), HL (*Heap Leaching*), *Biobleaching* dan beberapa kombinasinya (Crundwell, 2011).

2.7 Metode Statistik

Statistik dapat didefinisikan sebagai ilmu yang berkaitan dengan mengembangkan dan mempelajari serta metode untuk mengumpulkan, menganalisis, menafsirkan dan menyajikan data empiris. Sederhananya, statistik adalah berbagai prosedur untuk mengumpulkan, mengatur, menganalisis dan menyajikan data kuantitatif. Data adalah istilah untuk fakta-fakta yang telah diperoleh dan kemudian dicatat, dan untuk ahli statistik, data biasanya mengacu pada data kuantitatif yang berupa angka. Statistik dapat membantu mengubah data menjadi informasi yaitu, data yang telah ditafsirkan, dipahami dan berguna bagi penerima (Zakirman, 2020).

Statistika adalah sekumpulan konsep dan metode yang digunakan untuk mengumpulkan, menyajikan, menganalisis dan menginterpretasi data kuantitatif suatu fakta tentang bidang kegiatan tertentu. Penyajian data yang berupa angka-angka dan analisis data tersebut merupakan salah satu fungsi statistika. Lebih



rlu dijelaskan bahwa dalam metodologi dan teori statistika modern, mempunyai fungsi lebih luas, tidak hanya sekedar penyajian grafik atau tatistika adalah pengetahuan praktis dan sebagai ilmu terapan yang

berperan penting dalam penerapan metode dan konsep dalam analisis data kegiatan eksperimentasi, maupun observasi dan pengambilan inferensi (Budiwanto, 2017).

Data biasanya dikumpulkan dalam format mentah dan dengan demikian informasi yang terdapat didalamnya sulit dipahami. Oleh karena itu, data mentah perlu dirangkum, diproses dan dianalisis. Informasi yang berasal dari data mentah harus disajikan dalam format yang efektif, jika tidak, akan menjadi kerugian bagi penulis itu sendiri maupun bagi pembaca. Teknik penyajian data dan informasi dapat berupa tekstual, tabular dan grafik. Teks adalah metode utama untuk menjelaskan temuan, menguraikan dan memberikan informasi kontekstual. Sebuah tabel paling cocok untuk merepresentasikan informasi individu dan merepresentasikan informasi kuantitatif dan kualitatif. Grafik adalah alat visual yang sangat efektif karena menampilkan data secara sekilas, memfasilitasi perbandingan dan dapat mengungkap hubungan dalam data seperti perubahan dari waktu ke waktu, distribusi frekuensi dan korelasi dari keseluruhan (Zakirman, 2020).

Salah satu analisis yang sering digunakan dalam metode statistik yaitu analisis korelasi. Analisis korelasi adalah metode statistika yang digunakan untuk menentukan suatu besaran yang menyatakan bagaimana kuat hubungan suatu variabel dengan variabel lain dengan tidak mempersoalkan apakah suatu variabel tertentu tergantung kepada variabel lain (Sekaran, 2010). Apabila semakin tinggi nilai korelasi, semakin tinggi pula keeratan hubungan diantara kedua variabel. Apabila terdapat angka korelasi mendekati nilai satu, maka korelasi dari dua variabel akan semakin kuat. Sebaliknya, jika angka korelasi mendekati nol maka korelasi dua variabel semakin lemah (Morris, 2020).

Teknik analisis korelasi digunakan untuk mengetahui ada atau tidak adanya kecenderungan hubungan antara dua variabel atau lebih. Dalam menggunakan teknik analisis korelasi, paling sedikit harus ada dua variabel yang dikorelasikan. Teknik analisis korelasi terutama digunakan untuk mengetahui



hubungan antara variabel yang satu dengan variabel lainnya. Hasil korelasi akan diperoleh koefisien korelasi yang menunjukkan besarnya r antar variabel. Hubungan antara variabel-variabel yang dikorelasikan

tersebut tidak mempermasalahkan apakah ada hubungan sebab akibat atau tidak ada hubungan sebab akibat (Budiwanto, 2017).

Seperti yang diungkapkan oleh Ronny Kountur bahwa data yang berskala interval atau rasio dapat menggunakan korelasi Pearson. Selain itu, signifikansinya tidak hanya harus memenuhi persyaratan pengukuran tersebut, tetapi harus pula menganggap data berdistribusi normal. Simbol untuk korelasi Pearson adalah “ ρ ” jika diukur dalam populasi, dan “ r ” jika diukur dalam sampel (Firdaus, 2009).

Korelasi Pearson adalah salah satu dari pengujian korelasi yang digunakan dalam mengetahui derajat keeratan hubungan dua variabel yang memiliki interval atau rasio, berdistribusi normal, serta mengembalikan nilai koefisien korelasi dengan rentang nilai antara -1, 0 dan 1 (Zhang et al., 2020). Nilai positif adalah nilai 1, nilai -1 merupakan nilai negatif dan nilai 0 merupakan nilai yang tidak terdapat korelasi (Fu et al., 2020).

Korelasi Pearson menghasilkan koefisien korelasi yang berfungsi untuk mengukur kekuatan hubungan linier antara dua variabel. Jika hubungan dua variabel tidak linier, maka koefisien korelasi Pearson tersebut tidak mencerminkan kekuatan hubungan dua variabel yang sedang diteliti, meski kedua variabel mempunyai hubungan kuat. Koefisien korelasi ini disebut koefisien korelasi Pearson karena diperkenalkan pertama kali oleh Karl Pearson tahun 1990 (Firdaus, 2009). Syarat-syarat data yang digunakan dalam Korelasi Pearson, diantaranya (Sudjana, 2005):

1. Bersekala interval/ rasio
2. Variabel X dan Y harus bersifat independen satu dengan lainnya
3. Variabel harus kuatitaif simetris

Arah hubungan antar variabel yang dianalisis, korelasinya dapat berbentuk hubungan positif atau hubungan negatif. Arah hubungan positif antar variabel terjadi jika naiknya skor variabel X selalu diikuti dengan naiknya skor variabel Y atau jika turunnya skor variabel X selalu diikuti dengan turunnya skor variabel Y.

Sebaliknya, arah hubungan negatif antar variabel terjadi jika naiknya skor variabel X diikuti dengan turunnya skor variabel Y atau turunnya skor variabel X diikuti dengan turunnya skor variabel Y (Budiwanto, 2017).



Besar kecilnya hubungan antar variabel dinyatakan dengan angka indeks yang disebut koefisien korelasi. Simbol yang digunakan untuk menyatakan besarnya koefisien korelasi dua variabel adalah r , dan R untuk koefisien korelasi ganda. Besarnya koefisien korelasi berkisar antara $-1,0$ sampai dengan $+1,0$. Sehingga ada dua kemungkinan koefisien korelasi yaitu korelasi negatif dan korelasi positif. Koefisien korelasi negatif menunjukkan arah hubungan berbanding terbalik antara variabel yang satu dengan lainnya. Sedangkan koefisien korelasi yang positif menunjukkan arah hubungan berbanding lurus antara variabel yang satu dengan lainnya. Jika koefisien korelasi $+1,0$ atau $-1,0$ maka hubungan dua variabel tersebut sempurna. (Sutrisnohadi, 1983)

Jika koefisien korelasi menunjukkan angka 0, maka tidak terdapat hubungan antara dua variabel yang dikaji. Jika hubungan dua variabel linier sempurna, maka sebaran data tersebut akan membentuk garis lurus. Sekalipun demikian pada kenyataannya kita akan sulit menemukan data yang dapat membentuk garis linier sempurna (Sutrisnohadi, 1983).

Dalam analisis korelasi, tidak dibedakan peran variabel mana yang menjadi variabel bebas (*dependent variable*) dan variabel mana yang akan menjadi variabel tak bebas terikat (*independent variable*), sehingga hubungannya dipandang sebagai hubungan simetris. Sehingga, dalam pendefinisian. Variabelnya dianggap sama antara variabel bebas dan tidak bebas, karena hubungan tersebut tetap dapat diketahui. Namun saat akan melakukan suatu peramalan (analisis regresi), perlu ditentukan variabel y sebagai variabel yang nilainya akan diramalkan (variabel bebas) karena hubungannya dipandang sebagai asimetris (Kurniawan, 2016). Berdasarkan interpretasi terhadap koefisien korelasi Pearson, Sugiyono (2018) membaginya dalam beberapa interval, seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Interval koefisien korelasi pearson r (Sugiyono, 2018)

Interval Koefisien Korelasi (r)	Tingkat Hubungan
0,80 – 1,000	Sangat Kuat
0,60 – 0,799	Kuat
0,40 – 0,599	Sedang



0,20 – 0,399	Rendah
0,00 – 0,199	Sangat Rendah

