

**SKRIPSI**

**GEOKIMIA BIJIH LIMONIT PADA ENDAPAN NIKEL LATERIT  
DAERAH POMALAA KABUPATEN KOLAKA TIMUR PROVINSI  
SULAWESI TENGGARA**

**Disusun dan Diajukan Oleh :**

**MUH. ZULFAHMI AZRUL  
D061171502**



**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2022**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**GEOKIMIA BIJIH LIMONIT PADA ENDAPAN NIKEL LATERIT  
DARAH POMALAA KABUPATEN KOLAKA TIMUR PROVINSI  
SULAWESI TENGGARA**

**Disusun dan Diajukan Oleh :**

**MUH. ZULFAHMI AZRUL  
D061171502**

Telah Dipertahankan Di hadapan Panitia Ujian Yang Dibentuk Dalam Rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana, Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada Tanggal 20 Oktober 2022 Dan Dinyatakan Telah Memenuhi Syarat Kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

Dr. Eng. Hendra Pachri S.T., M.Eng  
NIP. 19771214 200501 1 002

Dr. Ulva-Ria Irfan, S.T., M.T.  
NIP. 19700606199412 2 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Geologi  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



  
Dr. Eng. Hendra Pachri S.T., M.Eng  
NIP. 19771214 200501 1 002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muh. Zulfahmi Azrul

NIM : D061171502

Program Studi : Teknik Geologi

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul :

### **GEOKIMIA BIJIH LIMONIT PADA ENDAPAN NIKEL LATERIT DAERAH POMALAA KABUPATEN KOLAKA TIMUR PROVINSI SULAWESI TENGGARA**

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

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

Makassar, 20 Oktober 2022

Yang Menyatakan



Muh. Zulfahmi Azrul

## SARI

Daerah penelitian termasuk dalam lembar Kolaka serta terletak pada daerah Pomalaa, Kabupaten Kolaka Utara Provinsi Sulawesi Tenggara dengan titik koordinat  $120^{\circ} 37' 00''$  BT -  $120^{\circ} 40' 00''$  BT (Bujur Timur) dan  $02^{\circ} 32' 00''$  LS –  $02^{\circ} 36' 00''$  LS (Lintang Selatan). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik fisik zona limonit pada daerah penelitian, bagaimana karakteristik geokimia unsur major pada zona limonit daerah penelitian dan bagaimana karakteristik geokimia unsur minor pada zona limonit daerah penelitian dengan menggunakan metode Analisa sampel pemboran (*core*) dan Analisa laboratorium berupa Analisa XRF dan Petrografi. Berdasarkan Analisa data bor, zona limonit menempati bagian paling atas dari profil laterit. Dimana zona limonit memiliki bentuk yang berlapis – lapis dan pada umumnya dijumpai dalam bentuk limonit berwarna coklat kemerahan pada bagian atas dan coklat kekuningan pada bagian bawah hingga zona transisi. Karakteristik unsur major yang menunjukkan bahwa profil bijih pada zona limonit Daerah Pomalaa Blok 1 dimana menunjukkan profil kandungan Fe, SiO<sub>2</sub> dan MgO sebagai elemen utama pada daerah penelitian. Karakteristik unsur minor pada zona limonit dimana menunjukkan profil kandungan Ni, Co, MnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebagai elemen minor pada profil laterit Daerah Pomalaa dengan konsentrasi kurang 3,5%.

**Kata Kunci :** Profil, Nikel, Laterit, Geokimia, Unsur, Limonit, Saprolit, Bedrock

## **ABSTRACT**

*The research area is included in the Kolaka sheet and is located in the Pomalaa area, North Kolaka Regency, Southeast Sulawesi Province with coordinates 120° 37' 00" East Longitude - 120° 40' 00" East Longitude (East Longitude) and 02° 32' 00" South Latitude – 02 ° 36' 00" South Latitude (South Latitude). This study aims to determine the physical characteristics of the limonite zone in the study area, how the geochemical characteristics of the major elements in the limonite zone of the study area and how the geochemical characteristics of minor elements in the limonite zone of the study area are carried out by using the method of analysis of drilling samples (core) and laboratory analysis in the form of XRF and XRF analysis. petrography. Based on drill data analysis, the limonite zone occupies the uppermost part of the laterite profile. Where the limonite zone has a layered shape and is generally found in the form of reddish brown limonite on the top and yellowish brown on the bottom to the transition zone. The characteristics of the major elements indicate that the ore profile is in the limonite zone of the Pomalaa Block 1 area which shows the profile of Fe, SiO<sub>2</sub> and MgO content as the main elements in the study area. Characteristics of minor elements in the limonite zone which shows the profile of the content of Ni, Co, MnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as minor elements in the laterite profile of the Pomalaa Region with a concentration of less than 3.5%.*

**Keywords:** *Profile, Nickel, Laterite, Geochemistry, Elements, Limonite, Saprolite, Bedrock*

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul ***“Geokimia Bijih Limonit Pada Endapan Nikel Laterit Daerah Pomalaa Kabupaten Kolaka Timur Provinsi Sulawesi Tenggara”***.

Pada kesempatan kali ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung, membimbing, mengarahkan serta membantu penulis dalam menyusun laporan penelitian ini, antara lain :

1. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri S.T., M.Eng. sebagai Dosen Pembimbing Pemetaan Geologi sekaligus Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah mengarahkan dan membimbing dalam pengerjaan laporan ini.
2. Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T. sebagai Dosen Pembimbing Pendamping Pemetaan Geologi yang telah mengarahkan dan membimbing dalam pengerjaan laporan ini.
3. Bapak Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T dan Bapak Safruddim S.T., M.Eng., sebagai Dosen Penguji yang telah memberikan saran dan masukannya pada saat dilaksanakannya seminar hasil.
4. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin yang telah memberikan bimbingannya.
5. Seluruh Staf Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin yang telah memberikan bantuannya.

6. Kedua orang tua Muh. Azrul Amir dan A. Enriyani atas segala kasih sayang, saran, bimbingan, mendukung dan membantu penulis dari awal sampai akhir pembuatan laporan pemetaan ini.
7. Yusril, Jusriani Azis, Allika Fadia Haya Sukur, Utami Enka Lestari, Muh. Farhan Wahyu Wira Pratama, Bybelly Israelia Kakerissa yang telah menemani, membantu, memberi saran serta dukungan tiada henti kepada penulis dalam penyelesaian penelitian.
8. Seluruh rekan Mahasiswa Geologi Unhas, terkhusus pada angkatan 2017 (R17PTORZ) yang telah banyak memberikan dukungan serta ilmu yang belum kudapatkan selama perkuliahan kepada penulis.
9. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, atas segala bantuan dan dorongan yang diberikan selama ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki kekurangan di dalamnya, baik dalam penulisan maupun penyusunan, oleh karena penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk kesempurnaan laporan selanjutnya.

Semoga apa yang dilakukan ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat bernilai ibadah disisi Allah SWT. Aaamiiiiinn.

Makassar, 5 September 2022

Muh. Zulfahmi Azrul

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>SARI .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	3
1.6 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Geologi Regional .....	5
2.1.1 Geomorfologi Regional .....	8
2.1.2 Petrografi dan Mineralogi .....	10
2.1.3 Struktur Geologi .....	10
2.1.4 Alterasi dan Mineralisasi .....	11
2.2 Geologi Daerah Penelitian .....	14
2.2.1 Geologi Lokal .....	14
2.2.2 Alterasi dan Mineralisasi .....	18
2.3 Endapan Nikel Laterit .....	21
2.4 Genesa Endapan Nikel Laterit .....	23
2.5 Faktor yang Mempengaruhi Perkembangan Profil Laterit .....	25

2.6	Penyebaran dan Penampang Endapan Nikel Laterit .....	26
2.7	Mineralisasi Nikel Laterit Pomalaa .....	29
2.7.1	Profil Kedalaman Dari Elemen Utama .....	29
2.7.2	Profil Kedalaman Dari Elemen Minor .....	30
<b>BAB III</b>	<b>METODE PENELITIAN .....</b>	<b>33</b>
3.1	Metode Penelitian .....	33
3.2	Tahapan Penelitian .....	33
3.2.1	Tahap Persiapan .....	33
3.2.2	Tahap Pengambilan Data .....	34
3.2.2.1	Pemetaan Geologi Permukaan .....	34
3.2.2.2	Pemasangan Titik Bor .....	34
3.2.2.3	Pembentukan Jalan dan <i>Drill Pad</i> .....	35
3.2.2.4	Pemboran Inti .....	36
3.2.2.5	<i>Core Sample Dispatcher</i> .....	37
3.2.2.6	<i>Moving Rig</i> .....	37
3.2.2.7	Resurvey Titik .....	37
3.2.2.8	Tahap Preparasi Sampel.....	38
3.2.3	Tahap Pengolahan Data .....	41
3.2.3.1	Data Petrografi .....	41
3.2.3.2	Data <i>Assay</i> .....	42
3.2.4	Penyusunan Laporan .....	42
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>44</b>
4.1	Topografi .....	44
4.2	Sebaran Kandungan Geokimia Limonit .....	45
4.2.1	Distribusi Ketebalan Limonit Daerah Penelitian .....	45
4.2.2	Distribusi Geokimia Limonit Daerah Pemboran .....	47
4.2.2.1	Kadar Kandungan Silika Pada Limonit Daerah Penelitian .....	47
4.2.2.2	Kadar Kandungan Nikel Pada Limonit Daerah Penelitian .....	48
4.2.2.3	Kadar Kandungan Magnesium Pada Limonit Daerah Penelitian ....	48
4.2.2.4	Kadar Kandungan Kobalt Pada Limonit Daerah Penelitian .....	49

4.2.2.5	Kadar Kandungan Besi Pada Limonit Daerah Penelitian .....	49
4.2.3	Distribusi Ketebalan dan Geokimia Limonit Ore Daerah Penelitian.	50
4.2.4	Distribusi Ketebalan Limonit Ore Daerah Penelitian .....	50
4.2.4.1	Kadar Kandungan Silika Pada Limonit Ore Daerah Penelitian .....	50
4.2.4.2	Kadar Kandungan Nikel Pada Limonit Ore Daerah Penelitian .....	50
4.2.4.3	Kadar Kandungan Magnesium Pada Limonit Ore Daerah Penelitian	53
4.2.4.4	Kadar Kandungan Kobalt Pada Limonit Ore Daerah Penelitian .....	53
4.2.4.5	Kadar Kandungan Besi Pada Limonit Ore Daerah Penelitian .....	53
4.5	Korelasi Antara Elemen Geokimia .....	54
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>67</b>
5.1	Kesimpulan .....	67
5.2	Saran .....	67

## **LAMPIRAN**

1. Data Statistik Kandungan Geokimia Daerah Penelitian
2. Peta Kandungan Silika Daerah Penelitian
3. Peta Kandungan Nikel Pada Daerah Penelitian
4. Peta Kandungan Magnesium Pada Daerah Penelitian
5. Peta Kandungan Kobalt Pada Daerah Penelitian
6. Peta Kandungan Besi Pada Limonit Daerah Penelitian
7. Data Statistik Kandungan Geokimia Limonit Ore Daerah Penelitian
8. Peta Ketebalan Peta Kandungan Silika Pada Limonit Ore Daerah Penelitian
9. Peta Kandungan Nikel Pada Limonit Ore Daerah Penelitian
10. Peta Kandungan Magnesium Pada Limonit Ore Daerah Penelitian
11. Peta Kandungan Kobalt Pada Limonit Ore Daerah Penelitian
12. Peta Kandungan Besi Limonit Ore Daerah Penelitian
13. Petrografi Batuan

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Geologi regional Pulau Sulawesi dan Batuan Penyusun dari Sulawesi Tenggara .....	5
Gambar 2.2 Peta geologi Daerah Pomala .....	14
Gambar 2.3 Profil Laterit Pomalaa Zona Limonit dan Saprolit .....	21
Gambar 2.4 Skema Pembentukan Endapan Nikel Laterit (Darijanto,1986). .....	24
Gambar 2.5 Profil Laterit Blok .....	29
Gambar 3.1 Pemetaan Geologi Permukaan .....	34
Gambar 3.2 Pemasangan Titik Bor .....	35
Gambar 3.3 Pembentukan Jalan dan <i>Drill Pad</i> .....	35
Gambar 3.4 Proses Pengeboran .....	36
Gambar 3.5 Kenampakan <i>core</i> Hasil Pengeboran .....	37
Gambar 3.6 Proses <i>Moving Rig</i> .....	37
Gambar 3.7 Proses Preparasi Sampel .....	40
Gambar 3.8 <i>Flow Chart</i> Metodologi Penelitian .....	43
Gambar 4.1 Peta Ketebalan Limonit Daerah Penelitian .....	46
Gambar 4.7 Peta Ketebalan Limonit Ore Pada Daerah Penelitian .....	51
Gambar 4.13 Korelasi antara ketebalan limonit dan ketinggian topografi .....	54
Gambar 4.14 Korelasi Geokimia unsur Besi terhadap unsur Nikel, Cobalt, Magnesia dan Silika .....	55

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Kebutuhan bijih nikel sebagai pemasok utama bahan baterai listrik akan semakin meningkat, terutama perusahaan asal Tiongkok, Zheljiang Huayou Cobalt Co, tertarik untuk berinvestasi membangun *smelter* nikel dan kobalt di Indonesia. Perusahaan ini akan bermitra dengan produsen baterai kendaraan listrik. Ini akan menjdai proyek peleburan nikel untuk baterai listrik ketiga Huayou di Indonesia. Sebelumnya Huayou telah bermitra dengan Tsingshan Holding Group untuk membangun *smelter* nikel sulfat yang rencananya berlokasi di Weda Bay, Halmahera, Maluku Utara.

Baterai listrik merupakan komponen yang sangat penting dari sebuah mobil listrik, sebagai sumber energi untuk menjalankan mesin. Sumber energi penggerak inilah yang membedakan mobil listrik dengan mobil konvensional berbahan bakar minyak, sehingga lebih ramah lingkungan karena mengurangi polusi udara. Baterai listrik memiliki kemampuan untuk menyimpan daya listrik dan bisa diisi ulang (*rechargeable*). Ada dua jenis baterai listrik yang banyak dipakai saat ini yaitu *Lithium-ion* (Li-ion) dan *Nickel Metal Hydride* (NiMH). Baterai Li-ion menggunakan unsur logam litium dan kobalt sebagai elektroda, sementara itu NiMH memanfaatkan nikel.

Cebakan bijih litium belum ditemukan di Indonesia, meskipun ada indikasi mineralisasinya yang berasosiasi dengan batuan granit pegmatit. Namun Indonesia memiliki potensi nikel dan kobalt yang tersebar di beberapa pulau yaitu

Kalimantan, Sulawesi, Halmahera dan Papua. Endapan nikel dan kobalt di Indonesia merupakan endapan tipe laterit dengan yang terkandung dalam bijih limonit dan terutama bijih saprolit dengan kadar yang lebih tinggi. Rata-rata bijih laterit tersebut memiliki kandungan nikel berkisar antara 0.6% – 2.23% dan kobalt 0.07% – 0.18% .

Bijih nikel diperoleh dari endapan nikel laterit yang terbentuk akibat pelapukan batuan ultramafik yang mengandung nikel 0,3 % (Golightly, 1981). Jenis-jenis mineral yang terlapukan dalam batuan tersebut antara lain olivin, piroksin, dan amphibol (Rajesh, 2004). Nikel laterit umumnya ditemukan pada daerah tropis, dikarenakan iklim yang mendukung terjadinya pelapukan, selain topografi, *drainase*, tenaga tektonik, batuan induk, dan struktur geologi (Elias, 2001).

Pembentukan endapan nikel laterit merupakan proses yang cukup lama dalam umur geologi dimana terjadi perubahan mineral-mineral utama pada batuan ultramafik kemudian mengalami proses pencucian (*leaching*) oleh pengaruh air tanah (Elias,2003).

Penambangan bijih nikel laterit yang dilakukan oleh PT Inco Vale di Kabupaten Kolaka Provinsi Sulawesi Tenggara, memiliki kendala pada kadar bijih nikel yang tidak beraturan pada zona limonit dan saprolit. Oleh sebab itu penulis melakukan penelitian pada zona limonit dengan perkiraan bahwa terdapat perbedaan mobilitas unsur major yang mempengaruhi nilai kadar Ni. Penelitian yang dilakukan pada endapan nikel juga mencakup pada aspek perbedaan karakteristik yang dapat diketahui dari sifat fisik berdasarkan data titik bor dan

kondisi dipermukaan meliputi jenis laterit, litologi dan kondisi morfologi. Oleh karena itu judul penelitian ini adalah ” Geokimia Bijih Limonit Pada Endapan Nikel Laterit Daerah Pomalaa Kabupaten Kolaka Timur Provinsi Sulawesi Tenggara”.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian diatas dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini ialah sebagai berikut:

- 1 Bagaimana karakteristik fisik zona limonit terhadap perubahan kadar bijih nikel pada daerah penelitian.
- 2 Bagaimana karakteristik geokimia unsur major pada zona limonit terhadap perubahan kadar bijih nikel pada daerah penelitian.
- 3 Bagaimana karakteristik geokimia unsur minor pada zona limonit daerah penelitian

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1 Mengetahui karakteristik fisik zona limonit pada daerah penelitian.
- 2 Bagaimana karakteristik geokimia unsur major pada zona limonit daerah penelitian.
- 3 Bagaimana Karakteristik geokimia unsur minor pada zona limonit daerah penelitian.

## **1.4 Batasan Masalah**

Penelitian ini dilakukan terbatas pada karakteristik fisik permukaan dan bawah permukaan endapan nikel laterit, karakteristik geokimia endapan laterit pada

blok X PT Inco Vale melalui analisa sampel pemboran (*core*) dan analisa laboratorium berupa analisa XRF dan petrografi.

### **1.5 Lokasi dan Waktu Penelitian**

Secara administratif daerah penelitian termasuk dalam wilayah Kecamatan Kolaka Kabupaten Kolaka Provinsi Sulawesi Tenggara.

Daerah penelitian dapat ditempuh dengan menggunakan kendaraan roda empat maupun roda dua melalui jalan Provinsi Sulawesi Selatan di Kabupaten Wajo yang kemudian dilanjutkan dengan menggunakan kapal cepat dari pelabuhan Siwa menuju pelabuhan Kolaka. Selain itu juga dapat menggunakan alat angkut pesawat dengan waktu tempuh  $\pm$  45 menit dari bandara Sultan Hasanuddin (Makassar) menuju bandara Kolaka (Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara).

Penelitian dilakukan selama satu bulan meliputi penelitian lapangan dilaksanakan selama satu bulan dari bulan Juli 2021 sampai Agustus 2021 di PT Inco Vale kemudian dilanjutkan dengan penelitian laboratorium di Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

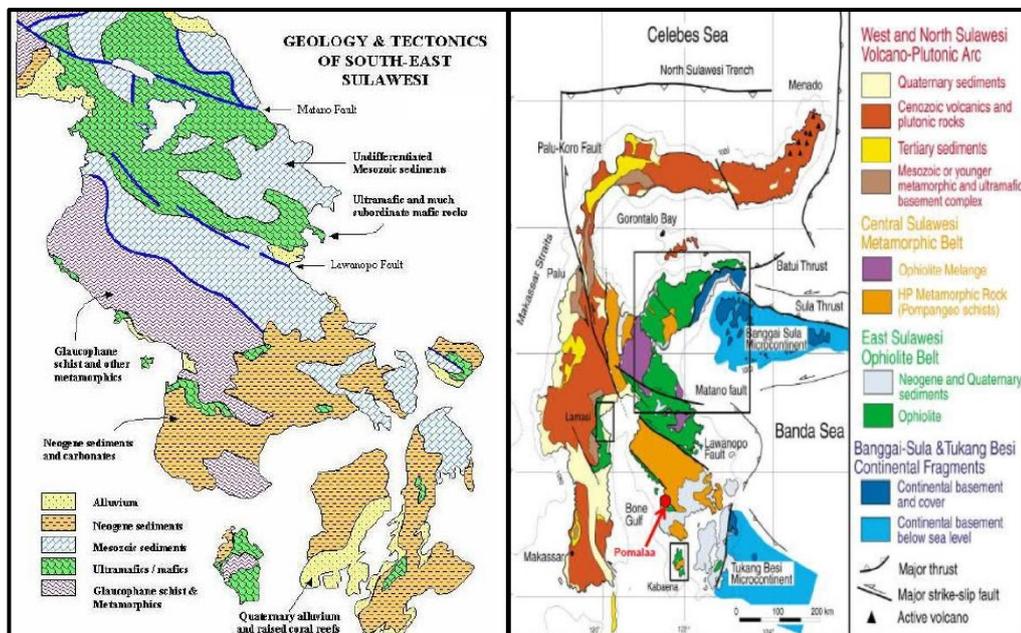
### **1.6 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini secara umum sebagai referensi yang berkaitan dengan karakteristik fisik endapan nikel, karakteristik geokimia setiap zona pada endapan laterit, karakteristik petrografi serta sebaran endapan nikel laterit.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Geologi Regional

Pulau Sulawesi, yang mempunyai luas sekitar 172.000 km<sup>2</sup> (Van Bemmelen, 1949), dikelilingi oleh laut yang cukup dalam. Sebagian besar daratannya dibentuk oleh pegunungan yang ketinggiannya mencapai 3.440 meter (Gunung Latimojong).



**Gambar 2.1** Geologi regional Pulau Sulawesi dan Batuan Penyusun dari Sulawesi Tenggara.

Pulau Sulawesi terdiri dari 4 lengan (*Arms*) yang terdiri dari Lengan Selatan (*South Arm*), Lengan Utara (*North Arm*), Lengan Tenggara (*Southeast Arm*) dan Lengan Timur yang terletak dalam suatu daerah tektonik yang sangat kompleks dimana 3 lempeng besar yang sudah saling berinteraksi mulai dari zaman Mesozoik hingga sekarang. Lengan Utara dan Selatan membentuk satu unit geologi yang disebut Zona Sulawesi Barat. Sedangkan Lengan Timur dan Lengan Tenggara

membentuk unit geologi yang disebut Zona Sulawesi Timur. Dua busur Sulawesi bertemu di daerah Sulawesi tengah yang dipisahkan dengan jelas di bagian selatan oleh Teluk Bone dan di bagian Utara oleh Teluk Tomini.

Zona Sulawesi Barat terdiri atas batuan dasar kompleks subduksi Zaman Kapur, Lapisan platform Tersier Tengah, dan batuan vulkanik dan Granit Tersier Atas. Sedangkan Zona Sulawesi Timur terdiri atas fragmen-fragmen ofiolit dan kompleks subduksi. Geologi dari Zona Barat dan Timur menunjukkan adanya migrasi ke arah timur dari suatu sistem subduksi dan busur magmatik selama periode Tersier sebagai akibat dari akresi tektonik yang menerus ke arah timur. Batuan-batuan di Lengan Timur dan Tenggara terdiri atas batuan metamorfik Kompleks Pompango, Sedimen Mesozoik, Ofiolit Melange, Sabuk Ofiolit Sulawesi Timur, batuan sedimen Neogen dan Quarter, Batuan dasar kontinental berikut sedimen yang menutupinya. Ofiolit di Lengan Tenggara Sulawesi didominasi oleh batuan ultramafik sedangkan Lengan Timur berisi diorit, gabro, dan basalt. Ofiolit terjadi dalam 3 bentuk, yaitu :

- a) Sebagai singkapan/tubuh batuan besar dengan berbagai bentuk/ukuran yang bisa mencapai ratusan kilometer persegi. Misalnya batuan Ultramafik di sekitar Danau Matano, Mahalona dan Towuti.
- b) Sebagai bentuk imbrikasi mengikuti arah struktur umum dari subduksi mélange. Dimana menurut arah struktur umum imbrikasi ini, sisi cembungnya cenderung ke arah barat.
- c) Sebagai tubuh Ultramafik yang bentuknya irregular dan terpecah pecah.

Tubuh Ultramafik ini mengikuti arah trend regional yang berarah utara timur laut. Contohnya adalah Latao, Lasusua, , Pomalaa, Kia-Kia, dan Kabaena). Batuan ultramafik dalam kompleks ofiolit terdiri atas sebagian besar peridotit dengan dunit yang lebih sedikit dimana telah terserpentinisasi dengan derajat yang bervariasi. Proses tektonik dan geologi pulau Sulawesi dan sekitarnya dibagi menjadi 3 Mandala Geologi (Sukanto, 1975) yaitu :

- a) Mandala Geologi Sulawesi Barat, dicirikan oleh adanya jalur gunung api Paleogen, Intrusi Neogen dan sedimen Mesozoikum.
- b) Mandala geologi Sulawesi Timur, dicirikan oleh batuan ofiolit yang berupa batuan ultramafik peridotite, harzburgit, dunit, piroksenit dan serpentinit yang diperkirakan berumur kapur.
- c) Mandala geologi Banggai Sula, dicirikan oleh batuan dasar berupa batuan metamorf Permo-Karbon, batuan-batuan plutonik yang bersifat granitis berumur Trias dan batuan sedimen Mesozoikum.

Menurut Hamilton (1972) dan Simandjuntak (1991), Mandala geologi Banggai Sula merupakan mikro-kontinen yang merupakan pecahan dari lempeng New Guinea yang bergerak kearah barat sepanjang sesar Sorong. Daerah Pomalaa dan sekitarnya menurut (T.O Simandjuntak, 1984, 1993) termasuk dalam Mandala Indonesia bagian Timur yang dicirikan dengan batuan ofiolit dan malihan yang di beberapa tempat tertindih oleh sedimen Mesozoikum.

Menurut Golightly (1979), bagian Timur Sulawesi tersusun dari 2 zona mélange subduksi yang terangkat pada pra dan *post-Miocene* (107 tahun lalu). Melange yang paling tua tersusun dari sekis dengan disertai beberapa tubuh batuan

ultrabasa yang penyebarannya sempit dengan stadia geomorfologi tua. Sementara yang berumur *post Miocene* telah mengalami pelapukan yang cukup luas sehingga cukup untuk membentuk endapan nikel laterit yang ekonomis, seperti yang ada di daerah Pomalaa. Melange yang berumur *Miocene-post Miocene* menempati *central* dan lengan *North-East* Sulawesi. *Uplift* terjadi sangat intensif di daerah ini, diduga karena desakan kerak samudera Banggai Craton. Pada bagian Selatan dari zona melange ini terdapat kompleks batuan ultramafik.

### **2.1.1 Geomorfologi Regional**

Van Bemmelen (1945) membagi lengan tenggara Sulawesi menjadi tiga bagian: ujung utara, bagian tengah, dan ujung selatan. Lembar Kolaka menempati bagian tengah dan ujung selatan dari lengan tenggara Sulawesi. Ada lima satuan morfologi pada bagian tengah dan ujung selatan Lengan Tenggara Sulawesi, yaitu morfologi pegunungan, morfologi perbukitan tinggi, morfologi perbukitan rendah, morfologi pedataran dan morfologi karst.

Satuan morfologi pegunungan menempati bagian terluas di kawasan ini, terdiri atas Pegunungan Mekongga, Pegunungan Tangkelemboke, Pegunungan Mendoke dan Pegunungan Rumbia yang terpisah di ujung selatan Lengan Tenggara. Puncak tertinggi pada rangkaian pegunungan Mekongga adalah Gunung Mekongga yang mempunyai ketinggian 2790 mdpl. Pegunungan Tangkelamboke mempunyai puncak Gunung Tangkelamboke dengan ketinggian 1500 mdpl. Satuan morfologi ini mempunyai topografi yang kasar dengan kemiringan lereng tinggi. Rangkaian pegunungan dalam satuan ini mempunyai pola yang hampir sejajar berarah barat laut–tenggara. Arah ini sejajar dengan pola struktur sesar regional di

kawasan ini. Pola ini mengindikasikan bahwa pembentukan morfologi pegunungan itu erat hubungannya dengan sesar regional.

Morfologi perbukitan tinggi menempati bagian selatan Lengan Tenggara, terutama di selatan Kendari. Satuan ini terdiri atas bukit-bukit yang mencapai ketinggian 500 mdpl dengan morfologi kasar. Batuan penyusun morfologi ini berupa batuan sedimen klastika Mesozoikum dan Tersier. Morfologi perbukitan rendah Morfologi perbukitan rendah menyebar luas di Utara Kendari dan ujung selatan Lengan Tenggara Sulawesi. Satuan ini terdiri atas bukit kecil dan rendah dengan morfologi yang bergelombang. Batuan penyusun satuan ini terutama batuan sedimen klastik Mesozoikum dan Tersier.

Morfologi dataran rendah dijumpai di bagian tengah ujung selatan Lengan Tenggara Sulawesi. Tepi selatan Dataran Wawotobi dan Dataran Sampara berbatasan langsung dengan morfologi pegunungan. Penyebaran morfologi ini tampak sangat dipengaruhi oleh sesar geser mengiri (Sesar Kolaka dan Sistem Sesar Konaweha). Kedua sistem ini diduga masih aktif, yang ditunjukkan oleh adanya torehan pada endapan aluvial dalam kedua dataran tersebut (Surono dkk, 1997). Sehingga sangat mungkin kedua dataran itu terus mengalami penurunan. Akibat dari penurunan ini tentu berdampak buruk pada dataran tersebut, di antaranya pemukiman dan pertanian di kedua dataran itu akan mengalami banjir yang semakin parah setiap tahunnya.

Morfologi karst menyebar di beberapa tempat secara terpisah. Satuan ini dicirikan perbukitan kecil dengan sungai di bawah permukaan tanah. Sebagian besar batuan penyusun satuan morfologi ini didominasi oleh batugamping berumur

Paleogen dan selebihnya batugamping Mesozoikum. Batugamping ini merupakan bagian Formasi Eemoiko, Formasi Laonti, Formasi Buara dan bagian atas dari Formasi Meluhu. Sebagian dari batugamping penyusun satuan morfologi ini sudah berubah menjadi marmer. Perubahan ini erat hubungannya dengan pensesar-naikkan ofiolit ke atas kepingan benua.

### **2.1.2 Petrografi dan Mineralogi**

Hasil studi petrografi menunjukkan bahwa batuan dasar pembentuk endapan nikel laterit di Pomalaa didominasi oleh Harzburgit dengan sedikit Lherzolit. Batuan dasar ini sudah terserpentinisasi sedang hingga kuat yang telah mengubah komposisi dan tekstur mineral awal. Kandungan mineral Serpentin berkisar antara 30% hingga 60%. Proses serpentinisasi juga telah membentuk mineral magnetit sekitar 10%. Sedangkan hasil studi mineralogi menyimpulkan hal-hal berikut:

- a) Kandungan mineral terdiri atas Goetit, Asbolit, Spinel, Smektit, Serpentin, Kuarsa, Klorit, Aluminium oksida dan Besi oksida.
- b) Goetit adalah mineral yang paling dominan.
- c) Serpentin yang berasosiasi dengan Smektit dijumpai pada semua sampel.
- d) Spinel, Asbolit, dan Kuarsa terkonsentrasi pada fraksi material yang lebih kasar.
- e) Goetit mempunyai kandungan nikel yang paling besar (39-50% dari total nikel) diikuti oleh Mn oksida.
- f) Kobalt secara dominan terkandung dalam Asbolit dan Goetit.

### 2.1.3 Struktur Geologi

Pada lengan tenggara Sulawesi, struktur utama yang terbentuk setelah tumbukan adalah sesar geser mengiri, termasuk sesar matarombeo, system sesar Lawanopo, sistem sesar Konaweha, sesar Kolaka, dan banyak sesar lainnya serta liniasi. Sesar dan liniasi menunjukkan sepasang arah utama tenggara-barat laut ( $332^\circ$ ), dan timur laut barat daya ( $42^\circ$ ). Arah tenggara barat laut merupakan arah umum dari sesar geser mengiri dilengan tenggara sulawesi. Sistem sesar Lawanopo termasuk sesar-sesar berarah utama barat laut tenggara yang memanjang sekitar 260 Km dari Utara Malili sampai tanjung Toronipa. Ujung barat laut sesar ini menyambung dengan sesar Matano, sementara ujung tenggaranya bersambung dengan sesar Hamilton yang memotong sesar naik Tolo. Sistem sesar ini diberi nama sesar Lawanopo oleh Hamilton (1979) berdasarkan dataran Lawanopo yang ditorehnya.

Analisis stereografi orientasi bodin, yang diukur pada tiga lokasi, menunjukkan keberagaman azimuth rata-rata / plunge:  $30^\circ/44^\circ$ ,  $356.3^\circ/49^\circ$ , dan  $208.7^\circ/21^\circ$ . Adanya mata air panas di Desa Toreo, sebelah tenggara Tinobu serta pergeseran pada bangunan dinding rumah dan jalan sepanjang sesar ini menunjukkan bahwa sistem sesar Lawanopo masih aktif sampai sekarang. Lengan Sulawesi tenggara juga merupakan kawasan pertemuan lempeng, yakni lempeng benua yang berasal dari Australia dan lempeng samudra dari Pasifik. Kepingan benua di Lengan Tenggara Sulawesi dinamai Mintakat Benua Sulawesi Tenggara (*South East Sulawesi Continental Terrane*) dan Mintakat Matarambeo. Kedua lempeng dari

jenis yang berbeda ini bertabrakan dan kemudian ditindih oleh endapan Molasa Sulawesi.

#### **2.1.4 Alterasi dan Mineralisasi**

Laterit nikel merupakan hasil pelapukan batuan ultramafik. Batuan ultramafic berkomposisi olivin, piroksen, kaya akan unsur *mobile* yang disebabkan oleh MgO dan SiO dan sedikit akan unsur *nonmobile* (sedikit Fe dan Al). Alterasi batuan ultramafik yaitu serpentinisasi, mengubah mineral-mineral pada batuan ultramafik sehingga teksturnya ikut berubah. Proses pembentukan laterit nikel ditunjang oleh batuan asal, struktur (*joint*), iklim, proses pelarutan kimia dan vegetasi, topografi dan waktu.

Hasil proses laterisasi berupa formasi gradasi pelapisan yang membentuk profil laterit. Profil laterit nikel keseluruhan terdiri dari 4 zona gradasi, *iron Capping / Overburden, Limonite Layer, Zona Smektit* atau Nontronit (Zona Transisi), Silika Boxwork, Saprolite, dan Bedrock. Unsur nikel tidak terdapat pada proses serpentinisasi karena unsur nikel hanya sebagai impurities yang tidak mengalami reaksi. Unsur nikel hanya mengalami pengumpulan akibat proses lateritisasi.

Unsur nikel tersebut terdapat dalam kisi-kisi kristal mineral olivin dan piroksen, sebagai hasil substitusi terhadap atom Fe dan Mg. Proses terjadinya substitusi antara Ni, Fe dan Mg dapat diterangkan karena radius ion dan muatan ion yang hampir bersamaan di antara unsur-unsur tersebut. Proses serpentinisasi yang terjadi pada batuan peridotit akibat pengaruh larutan hydrothermal, akan merubah batuan peridotit menjadi batuan serpentinit atau batuan serpentinit peridotit.

Sedangkan proses kimia dan fisika dari udara, air serta pergantian panas dingin yang bekerja kontinu, menyebabkan disintegrasi dan dekomposisi pada batuan induk.

Alterasi batuan ultramafik yaitu serpentinisasi, mengubah mineral-mineral batuan ultramafik sehingga teksturnya ikut berubah. Mineral yang berubah menjadi serpentin terdiri dari olivin dan orthopiroksen, dengan reaksi kimia sebagai berikut:

- $4\text{H}_2\text{O (air)} + 3\text{Mg}_2\text{SiO}_4 \text{ (olivin)} + \text{SiO}_2 \rightarrow 2\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \text{ (Serpentine)}$
- $4\text{H}_2\text{O (air)} + 3\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6 \text{ (orthopiroksen)} \rightarrow 2\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \text{ (serpentine)} + 2\text{SiO}_2 \text{ (silica akueous)}$
- $6\text{Mg}_2\text{SiO}_4 \text{ (forsterit)} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \text{ (serpentin)} + \text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \text{ (talk)} + 6\text{Mg} + 3(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4 \text{ (fayalit)} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \text{ (serpentin)} + \text{Fe}_3\text{O}_4 \text{ (magnetit)} + 2\text{OH}$

Mineral olivin tersebut berubah menjadi mineral serpentin pada suhu berkisar dari 200°-500°C, namun pada suhu 500°-625°C olivin berubah menjadi talk, 625°-800°C olivin berubah menjadi enstatit dan kemudian talk, lebih dari 800°C olivin berubah menjadi enstatit (Ahmad, 2006).

Unsur nikel tidak terdapat pada proses serpentinisasi karena unsur nikel hanya sebagai impurities yang tidak mengalami reaksi. Unsur nikel hanya mengalami pengumpulan akibat proses lateritisasi. Namun dari prosesnya tersebut, yang sangat berpengaruh terhadap proporsi kandungan Ni adalah kemampuan Ni (nikel) mengganti Mg (magnesium) dalam mineral serpentin yang mengalami pelapukan.

Kandungan Ni yang terdapat dalam batuan ultramafik sebagai impurities di dalam mineral olivin dan piroksen. Proporsi nikel umumnya secara berurut sebagai berikut: olivin > opx > cpx. Pada mineral olivin dapat mengandung nikel berkisar 0,2-0,4%, pada piroksen berkisar 0,04-0,1%, pada kromit dan magnetit primer mengandung nikel dalam jumlah sangat kecil (Tabel 2.4). Dalam mineral ultramafik, kandungan nikel terbentuk pertama kali pada mineral olivin, sedangkan pada piroksen mengandung nikel dalam jumlah sedikit.

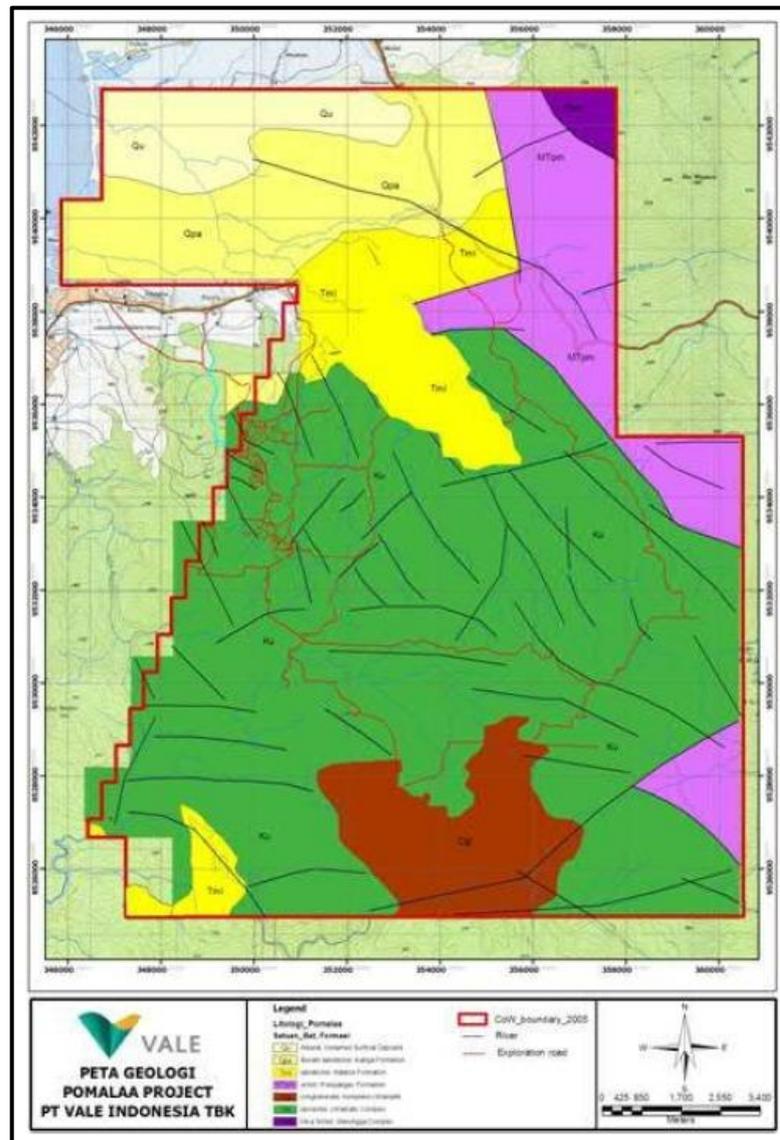
## **2.2 Geologi Daerah Penelitian**

### **2.2.1 Geologi Lokal**

Geologi daerah Pomalaa merupakan bagian dari batuan ultramafic Ofiolit Sulawesi Timur di lengan tenggara dari Pulau Sulawesi. Di daerah tersebut, endapan nikel laterit Pomalaa terbentuk dari pelapukan batuan asal ultramafic yang didominasi oleh *hazburgit* yang terserpentinisasikan dan memiliki karakteristik tipe endapan laterit nikel *Hydrous Mg Silicate*. Laterisasi terbentuk pada morfologi perbukitan bergelombang rendah dengan sudut kelerengan berkisar 10° sampai dengan 25°. Proses laterisasi berlangsung dengan baik terutama pada topografi yang cenderung lebih landau yaitu 10° sampai dengan 15°, yang memungkinkan terbentuknya laterisasi yang cukup dalam dengan zona saprolit yang tebal.

Zonasi profil laterit Daerah Pomalaa secara spasial dapat dibagi menjadi tiga blok yaitu Blok Utara, Blok Tengah dan Blok Selatan. Perbedaan profil di ketiga blok tersebut turut dipengaruhi oleh proses pengayaan (*enrichment*) Ni yang dialami. Di Blok Utara pengayaan Ni terjadi tepat di bawah batas tengah muka air tanah, sedangkan di Blok Tengah dan Blok Selatan pengayaan Ni terbentuk antara

2 meter sampai dengan 3 meter di bawah garis tersebut atau mendekati batas terbawah muka air tanah. Penciri utama yang membedakan Blok Selatan dengan Blok Utara dan Blok Tengah, adalah kelimpahan *boulder – boulder* batuan ultramafic, yaitu batuan serpentinite dan hazburgit dengan ukuran diameter mencapai lebih dari 2 meter pada zona saprolit.



Gambar 2.2 Peta geologi Daerah Pomalaa

Endapan nikel laterit di Pomalaa terletak di pantai barat dari “lengan tenggara” pulau Sulawesi, tepatnya di sekitar Teluk Bone, kurang lebih 200 km

selatan kota Malili. Endapan nikel Pomalaa menempati darah sekitar 5 km – 20 km dari pantai, dengan ketinggian daerah antara 100 m – 600 m diatas permukaan laut. Geologi daerah Pomalaa diketahui terdapat 2 jenis batuan ultramafik dan satu unit batuan metamorf, yaitu :

- a) Batuan peridotit halus sampai kasar, yang mengalami tingkat serpentinisasi dan retakan serta milonitisasi dan breksiasi.
- b) Peridotit yang mengalami serpentinisasi dan milonitasi secara intensif, terdapat di bagian Selatan dan Utara, berbatasan dengan batuan sedimen hasil pelapukan dan erosi dan transportasi batuan ultramafik.
- c) Batuan metamorf *schist* and *slate* membentuk daerah punggung atau tinggian di bagian timur laut wilayah Kontrak Karya blok Pomalaa.

Berdasarkan observasi di lapangan, data *logging* pemboran serta analisa petrografi diketahui bahwa serpentinisasi terjadi tersebar luas di batuan dasar Pomalaa. Daerah Pomala tertutup oleh batuan yang berkompisisi awal *harzburgite* dan *lherzolite*. Batuan ini telah mengalami serpentinisasi kuat sampai sedang, yang merubah tekstur dan komposisi batuan. Geologi blok Pomalaa berdasarkan litologinya dapat diklasifikasikan menjadi satuan alluvial, satuan batupasir silika, satuan konglomerat, satuan ultramafik, dan satuan metamorf. Satuan Alluvial dan sedimen pantai yang berumur kuarter, menempati daerah bagian utara dari aktifitas pemboran, yang terdiri dari material batuan lepas yang berukuran lempung hingga “*boulder*”. Indikasi di lapangan menunjukkan bahwa material tersebut merupakan hasil pelapukan dari batuan ultramafik, batuan metamorf, dan batuan sedimen yang

terendapkan kembali hingga saat ini. Umumnya daerah alluvial ini dijadikan sebagai daerah pemukiman penduduk, lahan perkebunan, persawahan dan tambak.

Satuan Batupasir silika umumnya dijumpai dibagian Utara dan tenggara, yang diperkirakan berumur miosen awal yang termasuk dalam formasi Longkawala.

Satuan konglomerat umumnya dijumpai pada bagian Selatan daerah pemboran, yang diperkirakan berumur miosen awal yang termasuk dalam formasi Longkawala (Simandjuntak, 1984). Observasi lapangan khususnya di sekitar sungai Huko-Huko, menunjukkan fragmen dan matriks dari satuan ini didominasi oleh batuan ultramafik dan metamorf yang tersemenkan oleh silica sehingga sangat kompak. Batuan ini berada di atas batuan dasar ultramafic secara tidak selaras yang ditandai oleh fragmen-fragmen batuan yang berasal dari batuan dasar ultramafik yang juga diperkirakan merupakan fragmen-fragmen breksi tektonik yang terbentuk akibat struktur yang kompleks. Ketidakselarasan ini menandakan adanya selang waktu pembentukan satuan konglomerat yang lama. Diperkirakan batuan ini terbentuk bersamaan dengan proses pembentukan laterisasi yang luas pada batuan ultramafik, dimana kondisi geologi pada saat itu merupakan daratan dan laut dangkal.

Batuan ultramafik yang berupa batuan peridotit tersementisasi adalah bagian dari ofiolit yang berumur Kenozoikum dengan komposisi Harzbugitik – Lherzolitik yang telah mengalami serpentinisasi. Endapan ultramafik di Pomalaa ini termasuk dalam kelompok masa ultramafik kecil, yang terbentuk di daerah sekitar pantai sepanjang kaki tenggara Pulau Sulawesi. Secara umum, batuan

ultramafik Pomalaa mengalami kontak struktur dengan Komplek Sekis Mesozoik Pompangeo di sepanjang sisi timur dari Pulau Sulawesi. Ke arah Barat Laut di sepanjang pantai barat, terdapat batuan ultramafik Pomalaa oleh model tubuh batuan ultramafik yang lain, yang kemudian merupakan sumber dari terbentuknya endapan laterit (Pulau Maniang dan Sua-Sua). Model ini dikontrol oleh sesar Kolaka dan kontak dengan Komplek Metamorf Karboniferus Mekongga. Endapan ultramafik Pomalaa berhubungan dengan Sedimen Neritik Miosen dari Formasi Langkowala di sisi selatan, barat dan utara.

Geologi lokal daerah Kontrak Karya terdiri dari Komplek Sekis Mesozoik Pompangeo di bagian Timur Laut, batuan ultramafik berumur kenozoik merupakan sumber dari mineralisasi laterit Nikel dan pada bagian selatan daerah kontrak karya batuan ini berubah menjadi konglomerat dengan fragmen ultramafik. Kompleks Sekis Mesozoik Pompangeo mengalami kontak struktur dengan Komplek Metamorf Karboniferus Mekongga. Endapan sedimen tersier dari Formasi Langkowala juga terdapat pada daerah Kontrak Karya dan endapan alluvial kuartar terdapat di bagian utara dari daerah Kontrak Karya.

Berdasarkan interpretasi landsat, kelurusan struktur geologi secara umum berarah Barat Laut - Utara dan relatif paralel dengan sesar Kolaka. Kelurusan ini mengontrol bentuk permukaan yang dimungkinkan merupakan zona mineralisasi nikel. Sesar-sesar setempat umumnya berarah Barat Laut - Tenggara sebagai akibat dari proses dilatasi dari sesar besar Kolaka yang berarah Barat laut tenggara yang merupakan sesar Left strike Fault. Beberapa kelurusan berarah Timur- Barat juga dijumpai di daerah kontrak karya dan cenderung tegak lurus dari sesar Kolaka.

Batuan ultramafik di daerah kontrak karya umumnya telah mengalami serpentinisasi yang tinggi dan sebagian sedang sampai rendah. Kondisi ini menggambarkan ciri-ciri mineralisasi nikel, tipe bijih dan kandungannya. Di bagian barat dapat dijumpai batuan metamorf seperti sekis, metasedimen dan batusabak. Endapan alluvial di tenggara menutupi bagian yang rendah di antara garis pantai dan Sungai Huko-Huko.

Pada Blok Pomalaa, batuan peridotit dijumpai pada topografi yang lebih rendah bila dibandingkan dengan batuan sedimen dan metamorf. Genesa batuan peridotit Pomalaa mempunyai hubungan dengan genesa batuan peridotit Soroako, yaitu merupakan bagian dari batuan ultramafik di kaki timur Pulau Sulawesi dan menerus sampai timur Sulawesi pada sabuk ofiolit, dengan singkapan yang dimulai dari Ampana di utara dan Pulau Kabaena di selatan.

### **2.2.2 Alterasi Dan Mineralisasi**

Alterasi merupakan perubahan komposisi mineralogi batuan (dalam keadaan padat) karena adanya pengaruh Suhu dan Tekanan yang tinggi dan tidak dalam kondisi isokimia menghasilkan mineral lempung, kuarsa, oksida atau sulfida logam. Proses alterasi merupakan peristiwa sekunder, berbeda dengan metamorfisme yang merupakan peristiwa primer. Alterasi terjadi pada intrusi batuan beku yang mengalami pemanasan dan pada struktur tertentu yang memungkinkan masuknya air meteorik (meteoric water) untuk dapat mengubah komposisi mineralogi batuan. Keadaan endapan nikel di wilayah Kontrak Karya PT Vale, Tbk Blok Pomalaa merupakan endapan nikel laterit, dimana mineralogi,

penyebaran, kualitas dan sifat bijih dikontrol oleh sifat/kondisi batuan dasar, sejarah geologi, morfologi dan situasi daerah serta iklim.

Batuan dasar di Pomalaa umumnya didominasi dengan batuan *harzburgites* yang mengalami serpentinisasi sedang sampai kuat, berbeda dengan *bedrock* di Sorowako (*West Block*) yang terdiri dari *dunites* dan *harzburgites* yang tidak mengalami serpentinisasi, sedang di *East Block* umumnya tertutup oleh *lherzolite*, *harzburgite* dan *dunite* yang terserpentinisasi dan tipe *Petea* yang didominasi oleh *harzburgite* dan sedikit *lherzolite* serta *dunite*. Pembentukan lateritisasi dan pengkayaan sekunder menghasilkan lapisan profil laterit sebagai berikut :

#### **A. Zona Limonit**

Zona Limonit menempati bagian paling atas dari profil laterit, zona ini merupakan produk akhir pelapukan batuan ultramafik dan konsentrasi residual dari elemen “*non-mobile*”. Pelarutan seluruhnya dari komponen mudah larut meninggalkan material lemah dan akhirnya menyebabkan runtuh. Zona Limonit ini juga berlapis-lapis. Di bagian atas dari zona ini terpengaruh oleh oksidasi dan menghasilkan sub zona hematit. Dibawah sub zona hematit kandungan besi umumnya berupa goetit dan limonit, keduanya merupakan besi hidroksida. Sedangkan besi, aluminium, dan *chrome sesquioxides* hampir tersebar merata dalam zona limonite. *Manganese* dan *cobalt* larut dan diendapkan di bagian bawah dari zona limonite. MgO dan SiO<sub>2</sub> sangat mudah larut dan hampir seluruhnya tercucikan/larut.

## **B. Zona Saprolit**

Zona ini berada diatas batuan dasar, terdiri sebagian atau seluruhnya dekomposisi dari *boulder* karena pengaruh pelapukan tropis. Dalam zona saprolit, pelapukan dari *boulder* batuan dasar secara bertahap meningkat kearah atas. Material mudah larut seperti magnesia, silika dan alkalis larut pada batuan dan *residual concentration* dari “*sesquioxides*” dari besi, alumina, *chrome* dan manganese akan meningkat. Nikel di zona saprolit sebagian merupakan endapan residual dan kebanyakan merupakan hasil pengkayaan sekunder. Air tanah yang bersifat asam melarutkan nikel yang ada di bagian atas profil laterit dan mengendapkannya ke zona saprolite bila terjadi perubahan keasaman air tanah secara mendadak. Walaupun kebanyakan bijih berada pada zona saprolit, tetapi tidak semua zona saprolit ini dapat diklasifikasikan sebagai endapan bijih. Di bagian bawah dari zona saprolit, berangsur-angsur menjadi berkurang pengkayaan sekundernya. Fe dan MgO berubah secara nyata dari batuan dasar ke zona saprolite. Fe meningkat sekitar 19% dan MgO berkurang sekitar 33%. Kearah atas dari zona saprolite, terjadi perubahan secara mencolok atas kandungan elemen mayor seperti Fe, MgO dan SiO<sub>2</sub> yang menandai secara jelas zona transisi antara zona saprolite dan limonite. MgO berkurang menjadi lebih kecil 5% dan Fe meningkat dari sekitar 19% di zona saprolite menjadi sekitar 45% di zona limonite.

## **C. Bedrock**

Zona ini menempati bagian paling bawah dari profil laterit. Zona *bedrock* merupakan batuan ultramafik yang belum terpengaruh proses pelapukan tropis. Komposisi kimia pada zona tersebut biasanya ditandai dengan kadar tinggi MgO

sekitar 35%, SiO<sub>2</sub> sekitar 45% dan Fe yang rendah, sekitar 6%. Perlapisan zona-zona diatas pada beberapa tempat mungkin berbeda karena pengaruh geologi lokal, kondisi morfologi, yang menyebabkan perubahan komposisi silika dan *cobalt*. Kebanyakan nikel di dalam bijih tidak terlihat dan terjadi dalam bentuk *nickeliferous serpentine* dan *talc*. Tetapi kadang-kadang warna hijau dari mineral *garnierite* ditemukan atau terlihat.

### **3.3 Endapan Nikel Laterit**

Laterit berasal dari bahasa latin yaitu *later*, yang artinya bata. Kata ini pertama kali diperkenalkan oleh Hamilton, 1907 terhadap tanah besi keras sebagai material dalam membuat bata untuk bahan bangunan yang digunakan oleh orang-orang India bagian Tengah (Ahmad, 2001). Saat ini, istilah tersebut diterapkan pada tanah yang kaya akan besi dan aluminium, terbentuk akibat pengaruh pelapukan kimia dengan kondisi air tanah tertentu.

Endapan nikel laterit merupakan endapan hasil proses pelapukan lateritik batuan induk ultrabasa yang mengandung Ni dengan kadar tinggi, agen pelapukan tersebut berupa air hujan, suhu, kelembaban, topografi, dan lain-lain. Hasil pelapukan terkonsentrasi di suatu tempat dan tidak mengalami transportasi atau insitu. Umumnya pembentukan endapan nikel laterit terjadi di daerah tropis atau sub-tropis.

Laterisasi adalah proses penguraian mineral-mineral primer yang mengakibatkan unsur-unsur terbawa dalam larutan kemudian akan terpresipitasi pada tempat tertentu. Proses ini berjalan dinamis dan perlahan, maka tampak bahwa profil laterit sesungguhnya merupakan kilasan dari perkembangan tahap-tahap

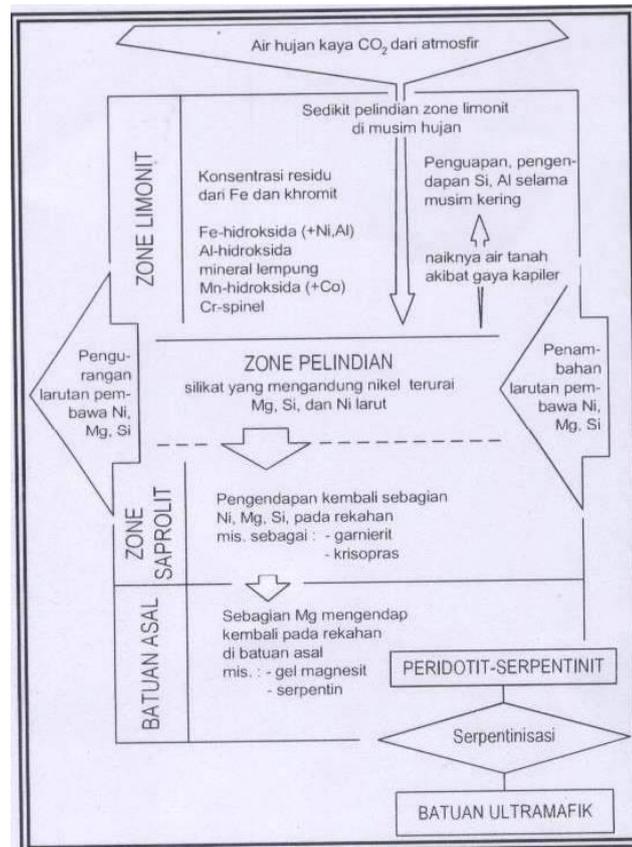
laterisasi. Lapisan paling bawah merefleksikan tahap awal dari pelapukan batuan dasar (*bedrock*), dan setiap lapisan ke atas masing-masing mewakili proses transformasi dari apa yang ada di bagian bawahnya, menampilkan perkembangan tahapan proses laterisasi secara progresif. Pada bagian bawah profil (*saprock*), pelapukan terjadi pada kontak antara mineral-mineral dan pada batas-batas fraktur batuan dan terdapat batuan *fresh* yang melimpah serta hanya sedikit produk alterasi.

Semakin ke atas dari profil, proporsi dari mineral-mineral primer yang bertahan akan semakin sedikit, dan lebih banyak lagi terbentuknya fraktur-fraktur batuan yang mengakibatkan berkembangnya *boulder-boulder* batuan yang mengapung dalam bentuk percampuran antara mineral-mineral primer dan mineral-mineral ubahannya, dimana pabrik batuan induk masih cukup terlihat baik (saproilit). Pada lapisan yang lebih tinggi lagi, sudah berupa mineral-mineral ubahan, dan ditandai oleh hilangnya pabrik primer batuan induknya. Zona ini berupa zona limonit, penamaannya berasal dari kandungan dominan mineraloginya (goethite dan hematite) pada laterit oksida.

### **3.4 Genesa Endapan Nikel Laterit**

Proses terbentuknya nikel dimulai dari adanya pelapukan yang intensif pada bedrock. Bedrock ini akan berubah menjadi serpentin akibat larutan residual pada waktu proses pembekuan magma (proses serpentinisasi) dan akan merubah batuan peridotit (bedrock) menjadi batuan serpentin. Menurut Golightly (1981) sebagian besar 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).

Air resapan yang mengandung CO<sub>2</sub> (dari udara) meresap kebawah sampai ke permukaan air tanah melindi mineral-mineral primer yang tidak stabil (olivin, piroksin dan serpentin). air meresap secara perlahan sampai mencapai batas limonit zone dan saprolit zone, kemudian mengalir secara lateral. Proses ini menghasilkan Ca dan Mg yang larut disusul dengan Si yang cenderung membentuk koloid dari partikel silika yang sangat halus, sehingga memungkinkan terbentuknya mineral baru melalui pengendapan kembali unsur-unsur tersebut. Semua hasil pelarutan akan turun ke bagian bawah mengisi celah-celah dan pori-pori batuan. Muka air tanah yang berlangsung secara kontinu akan melarutkan unsur-unsur Mg dan Si yang terdapat pada bongkah-bongkah batuan asal di zona saprolit, sehingga memungkinkan penetrasi air tanah yang lebih dalam. zona saprolit dalam hal ini akan semakin bertambah ikatan-ikatan yang mengandung oksida sehingga bongkah-bongkah yang ada dalam zona ini akan terlindi dan ikut bersama-sama dengan aliran air tanah dan sedikit demi sedikit zona saprolit atas akan berubah sifat porositasnya dan akan menjadi zona limonit. (Lihat gambar 2.3)



**Gambar 2.4** Skema Pembentukan Endapan Nikel Laterit (Darijanto,1986).

Untuk unsur-unsur yang sukar atau tidak mudah larut akan tinggal pada tempatnya dan sisanya akan turun ke bawah bersama larutan sebagai larutan koloid. Bahan-bahan seperti Fe, Ni dan Co akan membentuk konsentrasi residu dan konsentrasi celah pada zona yang disebut zona saprolit, berwarna coklat kuning kemerahan. Batuan asal ultramafik pada zona ini selanjutnya diimpregnasi oleh Ni melalui larutan yang mengandung Ni sehingga kadar Ni dapat Naik. Dalam hal ini Ni dapat mensubstitusi Mg dalam serpentin atau juga mengendap dalam rekahan bersama dengan larutan yang mengandung Mg dan Si sebagai garnierit dan krisopras (Darijanto,1986).

### 3.5 Faktor yang Mempengaruhi Perkembangan Profil Laterit

Proses-proses dan kondisi yang mengatur dan mengendalikan laterisasi dari batuan ultramafik begitu banyak dan beragam, akibatnya kondisi alamiah dari tiap profil berbeda secara detail dari satu tempat ke tempat lainnya dalam hal ketebalan, kimiawi, komposisi mineralogi dan perkembangan relatif dari zona profil secara individu (Ellias, 2002). Faktor – faktor utama yang mempengaruhi efisiensi dan kinerja dari pelapukan kimia, berdampak pada model alamiah profil, antara lain iklim, topografi, drainase, tektonik, tipe batuan induk, struktur, stabilitas mineral (struktur kristal, titik lebur), reaksi potensial (Reduksi/Oksidasi), ukuran butir dan bukaan batuan (Porositas), kondisi pH, tingkat pemindahan suatu unsur ke arah vertikal, klimaks (temperatur, curah hujan, naik-turunnya muka air tanah), peran permukaan air di bawah tanah, dan waktu .

Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat sebaran secara horisontal endapan lateritik (de Chetelat, dalam Boldt, 1967), yaitu :

1. Adanya proses pelapukan yang relatif merata walaupun berbeda tingkat intensitasnya, sehingga endapan lateritik terbentuk dan tersebar secara merata.
2. Morfologi yang tidak curam tingkat kelerengannya, sehingga endapan laterit masih mampu untuk ditopang oleh permukaan topografi sehingga tidak terangkut semua oleh proses erosi ataupun ketidakstabilan lereng.
3. Adanya tumbuhan penutup yang berfungsi untuk mengurangi tingkat intensitas erosi endapan lateritik, sehingga endapan laterit tersebut relatif tidak terganggu.

Faktor-faktor tersebut saling terkait secara kompleks. Ketika batuan terekspose ke permukaan, secara gradual akan mengalami dekomposisi. Proses kimia dan mekanik yang disebabkan oleh udara, air, panas dan dingin akan menghancurkan batuan tersebut menjadi *soil* dan *clay*.

### **3.6 Penyebaran dan Penampang Endapan Nikel Laterit**

Secara horisontal penyebaran Ni tergantung dari arah aliran air tanah yang sangat dipengaruhi oleh bentuk kemiringan lereng (topografi). Air tanah bergerak dari daerah – daerah yang mempunyai tingkat ketinggian ke arah lereng, yang mana sebagian besar dari air tanah pembawa Ni, Mg dan Si yang mengalir ke zona pelindian atau zona tempat fluktuasi air tanah berlangsung. Pada tempat- tempat yang banyak mengandung rekahan-rekahan Ni akan terjebak dan terakumulasi di tempat-tempat yang dalam sesuai dengan rekahan-rekahan yang ada, sedangkan pada lereng dengan kemiringan landai sampai sedang adalah merupakan tempat pengkayaan nikel.

Air tanah berfungsi sebagai larutan pembawa Ni pada saat berlangsungnya proses pelindian. Pada dasarnya proses pelindian ini dapat dikelompokkan menjadi proses pelindian utama yang berlangsung secara vertikal yang meliputi proses pelindian celah di zona saprolit serta proses pelindian yang terjadi di waktu musim penghujan di zona limonit (Golightly, 1979).

Profil (penampang) laterit dapat dibagi menjadi beberapa zona. Profil nikel laterit tersebut dideskripsikan dan diterangkan oleh daya larut mineral dan kondisi aliran air tanah. Menurut Golightly, 1979 profil laterit dibagi menjadi 4 zonasi, yaitu:

### **1. Zona Top Soil**

Top soil adalah lapisan paling atas dan bersentuhan langsung dengan udara banyak dijumpai potongan kayu atau akar tanaman, tersusun oleh material lanau lempungan atau lempung lanauan berukuran pasir halus hingga sedang, berwarna coklat kemerahan. Ketebalan lapisan ini berkisar 1 – 2 m mengikuti topografi yang ada.

### **2. Zona Limonit (LIM)**

Zona Limonit menempati bagian paling atas dari profil laterit, zona ini merupakan produk akhir proses pelapukan batuan ultramafik dan merupakan konsentrasi dari material “sisa” yang tidak mengalami proses transportasi masa.

Zona limonit ini juga berlapis-lapis. Di bagian atas dari zona ini terpengaruh oleh proses oksidasi dan menghasilkan sub zona hematit. Dibawah sub zona hematit pada umumnya berupa goetit dan limonit, keduanya merupakan besi hidroksida. Sedangkan besi, aluminum, dan krom hampir tersebar merata dalam zona limonit. Mangan dan kobalt akan larut dan diendapkan di bagian bawah zona limonit. MgO dan SiO<sub>2</sub> sangat mudah larut dan hampir seluruhnya akan tercuci/larut.

### **3. Zona Medium Grade Limonite (MGL)**

Sifat fisik zona *Medium Grade Limonite* (MGL) tidak jauh berbeda dengan zona overburden. Tekstur sisa batuan induk mulai dapat dikenali dengan hadirnya fragmen batuan induk, yaitu peridotit atau serpentinit. Rata-rata berukuran antara 1-2 cm dalam jumlah sedikit. Ukuran material penyusun berkisar antara lempung-pasir halus. Ketebalan zona ini berkisar antara 0-6 meter. Umumnya singkapan zona ini terdapat pada lereng bukit yang relatif datar. Mineralisasi sama dengan zona

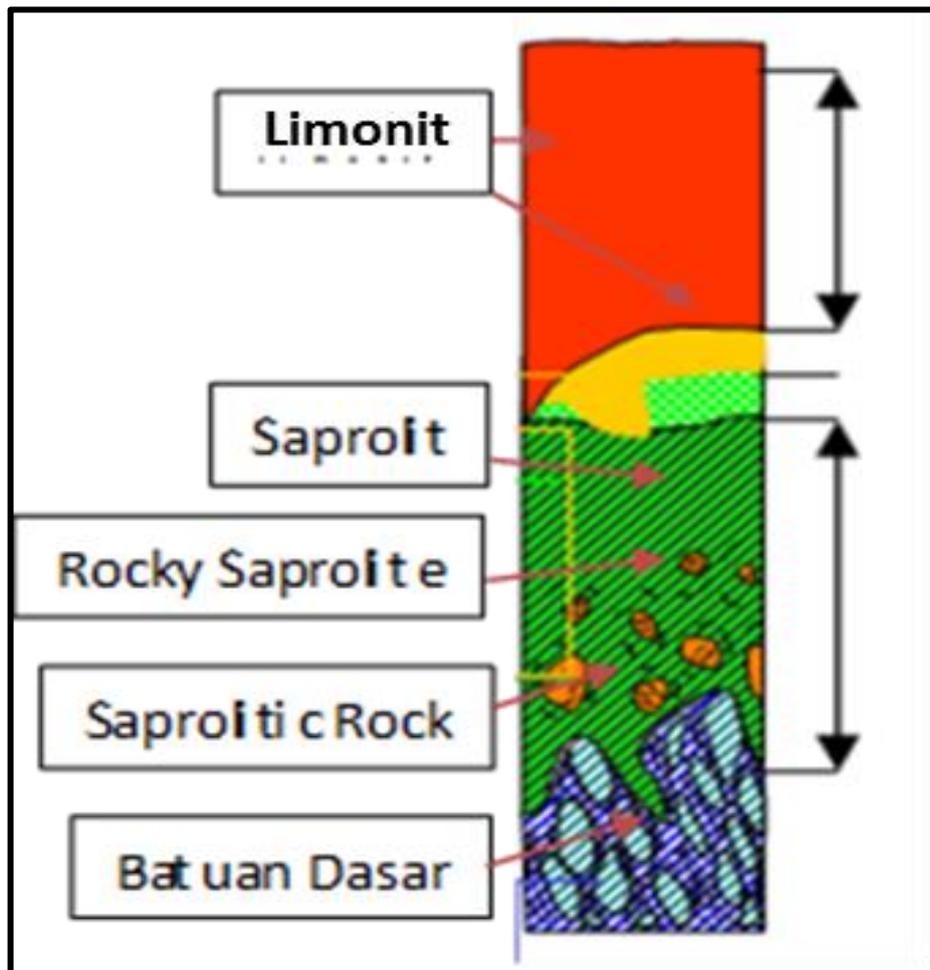
limonite dan zona saprolit, yang membedakan adalah hadirnya kuarsa, lihopirit, dan opak.

#### **4. Zona Saprolit**

Zona ini berada diatas batuan dasar (bedrock), terdiri dari sebagian atau seluruhnya merupakan dekomposisi dari boulder karena pengaruh pelapukan tropis. Dalam zona saprolit, pelapukan dari boulder batuan dasar secara bertahap meningkat kearah atas. Material mudah larut seperti magnesia, silika dan alkalis larut pada batuan dan merupakan konsentrasi material sisa “sesquioxides” dari besi, alumina, krom dan mangan. Nikel di zona saprolit sebagian merupakan endapan residual dan kebanyakan merupakan hasil pengayaan sekunder. Lapisan ini merupakan target penambangan bijih nikel.

#### **5. Zona batuan dasar (Bedrock zone)**

Zona ini menempati bagian paling bawah dari profil laterit. Zona bedrock merupakan batuan ultramafik yang belum terpengaruh proses pelapukan tropis. Komposisi kimia pada zona tersebut biasanya ditandai dengan kadar tinggi, MgO sekitar 35%, SiO<sub>2</sub> sekitar 45% dan Fe yang rendah, sekitar 6%. Batuan induk umumnya berupa Dunit, peridotit, serpentinit, atau peridotit terserpentinisasi.



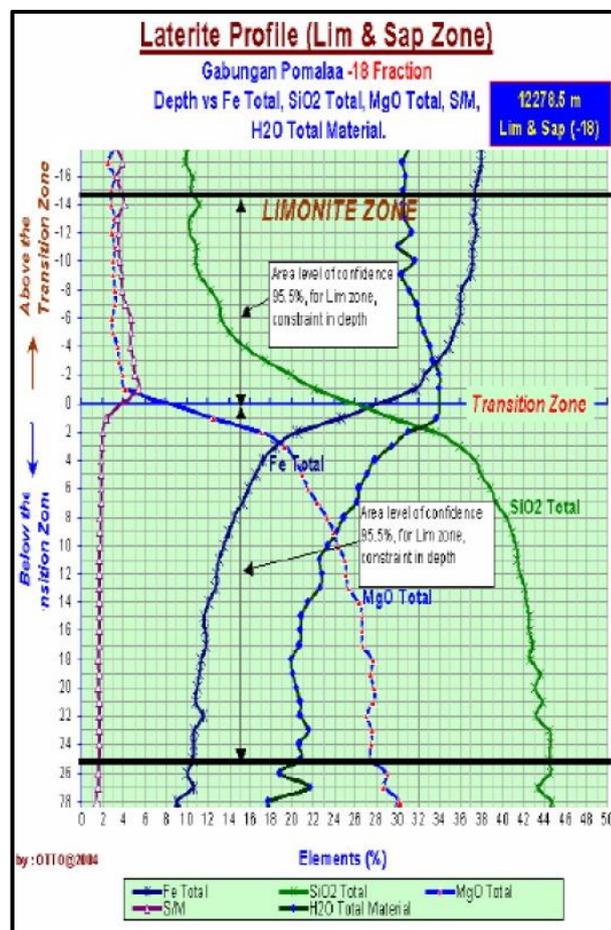
Gambar 2.5 Profil Blok Laterit

### 3.7 Mineralisasi Nikel Laterit Pomalaa

#### 3.7.1 Profil Kedalaman Dari Elemen Utama

Gambar di bawah menunjukkan profil bijih zone limonit di daerah Pomalaa Block 1. Gambar 2.6 menunjukkan profil kandungan Fe, SiO<sub>2</sub> dan MgO sebagai elemen utama di Pomalaa. Terlihat diatas zone transisi (garis biru), Fe terkonsentrasi sedang SiO<sub>2</sub> dan MgO umumnya larut. Zona transisi menandai perubahan mendadak dari semua elemen utama. Kebalikan dari Fe, MgO sedikit meningkat dari atas ke bagian bawah dari limonit zone dan meningkat tajam bila memasuki zona transisi, dan terus meningkat di bagian atas zona saprolit. Seperti

MgO, SiO<sub>2</sub> meningkat perlahan-lahan dari limonit bagian atas ke zona limonit bagian bawah. Pada waktu memasuki zona transisi, silika meningkat tajam, sampai bagian atas zona saprolit. Dari bagian atas saprolit ke bagian bawah saprolit, SiO<sub>2</sub> meningkat perlahan lagi dan stabil sampai pada bedrock. Al menurun (seperti Fe) dari bagian atas limonit ke zona transisi, dan akan terus menurun di bagian atas saprolit sampai bagian bawah zona saprolit. Al mengalami akumulasi maksimum di zona limonit, khususnya di bagian atas.

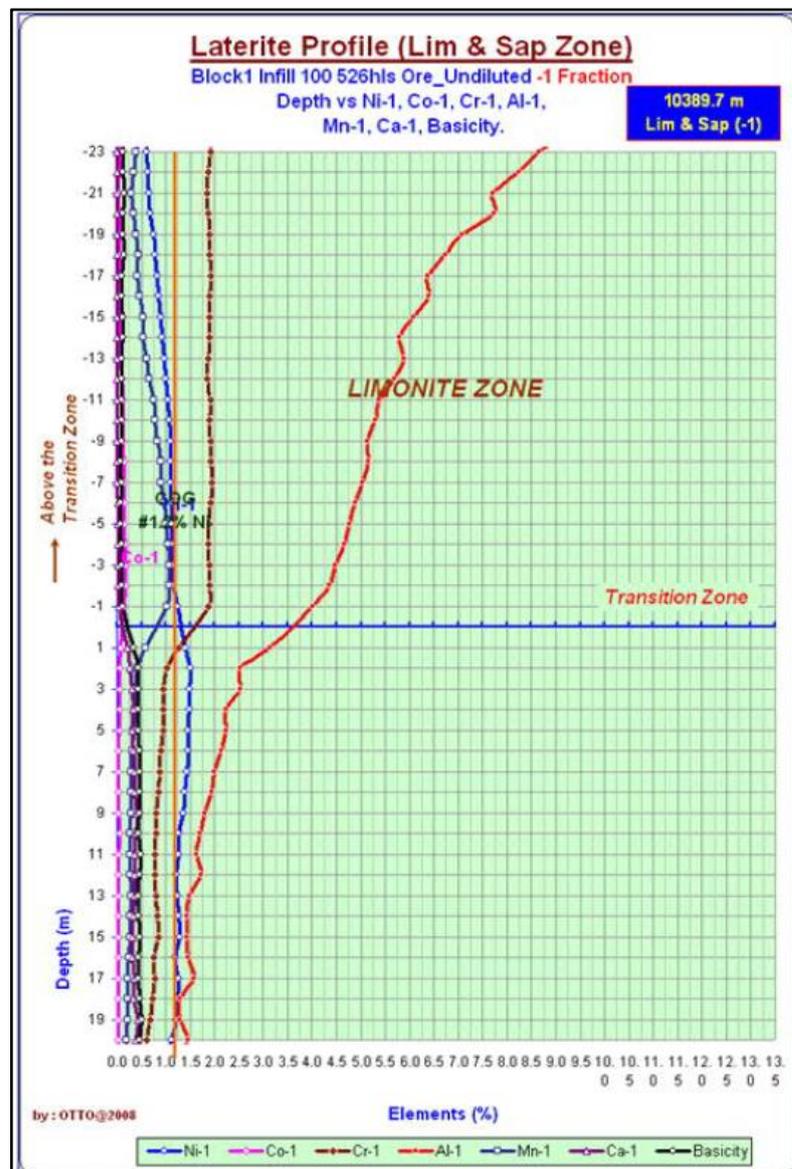


Gambar 2.6 Profil Elemen Major Laterit Pomalaa Zona Limonit dan Saprolit

### 3.7.2 Profil Kedalaman Dari Elemen Minor

Gambar 2.7 menunjukkan profil dari Ni, Co, MnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebagai elemen minor di profil laterit Pomalaa dengan konsentrasi kurang dari

3.5%. Chrome dan manganese menunjukkan terjadi konsentrasi residu diatas zona transisi. Nikel menunjukkan supergene enrichment di zona saprolit; sedang cobalt menunjukkan konsentrasi residu ke arah bagian bawah dari zona limonit.



**Gambar 2.7** Profil Elemen Minor Laterit Daerah Pomalaa

Profil laterit tersebut menunjukkan bahwa cobalt mengalami akumulasi besar di zona limonit, dan terus meningkat ke arah batas limonit-saprolit. Akumulasi tersebut menurun tajam bila memasuki zona saprolit. Umumnya pengkayaan nikel

meningkat di batas limonit-saprolit dan pengkayaan maksimum terjadi di zona saprolit.

Nikel (Ni) mempunyai sifat yang kompleks. Ni meningkat dari bagian atas limonit ke zona transisi, dan akan terus meningkat di bagian atas saprolit. Ke arah bawah dari zona transisi ke bagian tengah saprolit, Ni mengalami pengkayaan maksimum, dan kemudian menurun di bagian bawah saprolit. Fenomena ini memberikan dampak pada bijih untuk HPAL. Pengkayaan maksimum dari Ni terjadi di zona saprolit dengan kadar MgO lebih tinggi.

Konsekuensinya di zona limonit akan terdapat Ni berkadar rendah sampai menengah. Kobalt (Co) meningkat dari bagian atas limonit ke zona transisi. Di bagian bawah limonit, Co terakumulasi maksimum. Memasuki zona transisi, Co menurun dan terus menurun di bagian atas saprolit dan mempunyai akumulasi sedikit di bagian bawah saprolit. Manganese (Mn) mempunyai sifat seperti kobalt. Mn meningkat dari bagian atas limonit ke zona transisi. Di bagian bawah limonit, Mn mengalami akumulasi maksimum. Di zona transisi, Mn mulai menurun dan terus menurun di bagian atas saprolit dan mencapai akumulasi terendah di zona saprolit bagian bawah. Khrom (Cr) bersifat seperti Fe dan Al. Defleksi negatif dari Cr terjadi dari bagian atas limonit ke zona transisi. Memasuki zona transisi, Cr menurun tajam, dan terus menurun di bagian atas saprolit dan mempunyai akumulasi minimum di zona saprolit bagian bawah.

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan untuk mengetahui kandungan mineral dari endapan nikel limonit di daerah Blok 1, 2, 3 dan Blok 4 didapatkan hasil sebagai berikut :

- Kadar Ni (%) : 1,32 – 1,40
- Kadar Co (%) : 0,14 – 0,17
- Kadar Fe (%) : 38,94 – 42,19
- Kadar SiO<sub>2</sub> (%) : 9,19 – 18,17
- Kadar MgO (%) : 1,79 – 2,38

Kadar endapan nikel limonit di Blok 1 dan Blok 4 sudah memenuhi syarat/dapat memenuhi target dari spesifikasi kadar yang diinginkan untuk pengolahan dengan metode HPAL dengan berdasarkan cut off grade 1,1% Ni.