

# **SKRIPSI**

## **ANALISIS MINERALOGI DAN GEOKIMIA ENDAPAN NIKEL LATERIT *PIT C* PADA PT DJAVA BERKAH MINERAL *JOB* *SITE* PT BUKIT MAKMUR ISTINDO NIKELTAMA**

(Studi Kasus: *Pit C* Blok Keuno, PT Djava Berkah Mineral, Desa Keuno,  
Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah)

**Disusun dan diajukan oleh**

**ANDI ARISKA**

**D111171307**



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

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### **ANALISIS MINERALOGI DAN GEOKIMIA ENDAPAN NIKEL LATERIT PITC PADA PT DJAVA BERKAH MINERAL JOB SITE PT BUKIT MAKMUR ISTINDO NIKELTAMA**

(Studi Kasus: *Pit C*, Blok Keuno, PT Djava Berkah Mineral, Desa Keuono, Kabupaten  
Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah)

Disusun dan diajukan oleh

**ANDI ARISKA**

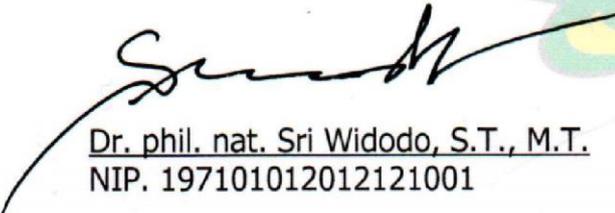
**D111171307**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi  
Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
pada tanggal 2 Desember 2022  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

  
Dr. phil. nat. Sri Widodo, S.T., M.T.  
NIP. 197101012012121001

  
Dr. Ir. Irzal Nur, M.T.  
NIP. 196604091997031002

Wakil Dekan Bidang Akademik Dan Kemahasiswaan,



Dr. Amil Anmad Ilham, S.T., M.IT  
NIP. 197310101998021001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andi Ariska  
NIM : D111171307  
Program Studi : Teknik Pertambangan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**Analisis Mineralogi dan Geokimia Endapan Nikel Laterit *Pit C* pada  
PT Djava Berkah Mineral Job Site Bukit Makmur Istindo Nikeltama  
(Studi Kasus: *Pit C*, Blok Keuno, PT Djava Berkah Mineral, Desa  
Keuno, Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah)**

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

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Desember 2022

Yang menyatakan



Andi Ariska

## ABSTRAK

Nikel laterit adalah produk residual pelapukan kimia pada batuan ultramafik (dunit, peridotit) dan ubahannya (serpentinit) yang banyak ditemukan di belahan bumi yang memiliki iklim tropis atau subtropik. Endapan nikel laterit memiliki perbedaan karakteristik pada setiap daerah, penelitian ini dilakukan pada endapan nikel laterit PIT C PT Djava Berkah Mineral untuk menganalisis karakteristik petrografi batuan dasar endapan nikel laterit, menganalisis karakteristik mineralogi dan karakteristik kimia endapan nikel laterit pada zona limonit dan saprolit. Analisis yang digunakan terdiri analisis petrografi, analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) dan analisis geokimia *X-Ray Fluorescence* (XRF). Analisis petrografi menunjukkan mineral piroksen ( $XY(Si,Al)_2O_6$  (X)) dengan kandungan sebesar 40%, mineral serpentin ( $(Mg,Fe)_3Si_2O_5(OH)_4$ ) dengan kandungan sebesar 15%, mineral olivin ( $MgSiO_4$ ) sebesar 35%, dan kandungan mineral klorit sebesar 10%. Penelitian hasil analisis XRD menunjukkan mineral pembawa Ni yaitu lizardit dan talk. Hasil analisis XRF pada zona limonit memperlihatkan kadar Ni sebesar 0,95 %, Fe sebesar 35,76 %, Si sebesar 33,51 %, Mg sebesar 8,22 %, Al sebesar 10,34 %, Ca sebesar 0,06 %, dan Cr sebesar 2,12 %. Hasil analisis XRF pada zona saprolit memperlihatkan kadar Ni sebesar 1,59 %, Fe sebesar 32,94 %, Si sebesar 36.03 %, Mg sebesar 10,28 %, Al sebesar 8,85 %, Ca sebesar 0,09 %, dan Cr sebesar 2,00 %.

Kata Kunci: Nikel laterit; Limonit; Saprolit; Petrografi; XRD; XRF

## **ABSTRACT**

*Nickel laterite is a residual product of chemical weathering in ultramafic rocks (dunite, peridotite) and their alterations (serpentinite) which are commonly found in hemispheres with tropical or subtropical climates. Laterite nickel deposits have different characteristics in each area, this study was conducted on laterite nickel deposits PIT C PT Djava Berkah Mineral to analyze petrographic characteristics of the bedrock of laterite nickel deposits, analyze the mineralogy and chemical characteristics of laterite nickel deposits in the limonite and saprolite zones. The analysis used consisted of petrographic analysis, X-Ray Diffraction (XRD) analysis and geochemical analysis of X-Ray Fluorescence (XRF). Petrographic analysis showed pyroxene minerals ( $XY(Si,Al)_2O_6$  (X)) with a content of 40%, serpentine minerals ( $(Mg,Fe)_3Si_2O_5(OH)_4$ ) with a content of 15%, olivine minerals ( $MgSiO_4$ ) of 35 %, and chlorite mineral content of 10%. XRD analysis result showed that the carrier minerals for Ni were lizardite and talc. The results of XRF analysis in the limonite zone showed Ni content of 0.95%, Fe are 35.76%, Si are 33.51%, Mg are 8.22%, Al are 10.34%, Ca are 0.06%, and Cr are 2.12%. The results of XRF analysis in the saprolite zone showed Ni content of 1.59%, Fe are 32.94%, Si are 36.03%, Mg are 10.28%, Al are 8.85%, Ca are 0.09%, and Cr are 2.00 %.*

*Keywords: Nickel laterite; Limonite; Saprolite; petrography; XRD; XRF*

## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahim*

*Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatu.*

Alhamdulillah Robbil alamin, puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan Rahmat dan Hidayah-Nya, yang Maha Menciptakan, Menghidupkan dan Mematikan, yang rahmat-Nya meliputi langit dan bumi, dunia dan akhirat dan kepada-Nyalah semua akan kembali. Shalawat dan salam semoga tercurah kepada Baginda Rasulullah SAW atas do'a, teladan, perjuangan, kesabaran, yang telah diajarkan kepada umat-Nya. Penulis dapat menyelesaikan penelitian Tugas Akhir dengan judul "Analisis Mineralogi dan Geokimia Endapan Nikel Laterit *Pit C* pada PT Djava Berkah Mineral *Job Site* PT Bukit Makmur Istindo Nikeltama (Studi Kasus: *Pit C* Blok Keuno, PT Djava Berkah Mineral, Desa Keuno, Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah)" tepat pada waktunya.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada berbagai seluruh pihak yang turut andil dalam penyusunan laporan ini yang telah memberikan dukungan dan bantuan baik secara moril maupun materil sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Ayyub Hatta selaku penanggung jawab operasional PT. Djava Berkah Mineral yang telah mengizinkan penulis untuk melakukan penelitian di PT. Djava Berkah Mineral di *Job Site* PT. Bukit Makmur Istindo Nikeltama. Penulis mengucapkan kepada Bapak Ardy Anshar sebagai Pembimbing 1 dan Bapak Alfred Steven sebagai Pembimbing 2 yang telah banyak memberikan bimbingan di perusahaan, baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga penulis dapat melaksanakan penelitian ini secara baik dan lancar. Serta seluruh karyawan PT Djava Berkah Mineral dan PT Bukit Makmur Istindo Nikeltama yang telah banyak membantu kegiatan penelitian saya.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Dr. phil. nat. Sri Widodo, S.T., M.T selaku dosen pembimbing pertama dan Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, M.T., selaku dosen pembimbing kedua sekaligus koordinator LBE Teknik Eksplorasi yang telah banyak meluangkan waktu untuk penulis dalam penyusunan laporan Tugas Akhir.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada kedua orang tua, Bapak Tamrin dan Ibu Darawati yang telah memberikan motivasi, dukungan, dan do'a sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.

Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada teman-teman CONTINUITY 2017 (Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin angkatan 2017) dan anggota LBE Eksplorasi Mineral yang meluangkan waktu, tenaga, dan fikiran kepada penulis selama melaksanakan penelitian sampai penyusunan laporan Tugas Akhir.

Penulis menyadari terdapat kekurangan dan keterbatasan selama kegiatan penelitian sehingga penulis senantiasa mengharapkan kritik dan saran dari pembaca demi penyempurnaan laporan Tugas Akhir. Akhir kata, semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat sebagai bekal ilmu pengetahuan bagi penulis dan pembaca.

Makassar, Desember 2022

Andi Ariska

# DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i> .....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian .....	2
1.5 Tahapan Penelitian .....	3
1.6 Lokasi Penelitian.....	4
BAB II REGIONAL SULAWESI, GEOLOGI DAERAH PENELITIAN DAN NIKEL LATERIT ...	5
2.1 Regional Sulawesi.....	5
2.2 Geologi Daerah Penelitian.....	8
2.3 Nikel .....	10
2.4 Nikel Laterit .....	11
2.5 Analisis Mineralogi Dan Geokimia .....	16
BAB III METODE PENELITIAN.....	18
3.1 Pengumpulan Data .....	18
3.2 Deskripsi Megaskopis .....	27

	Halaman
3.3 Analisis Sampel .....	28
3.4 Pengolahan Data .....	31
<b>BAB IV PETROLOGI, MINERALOGI DAN GEOKIMIA ENDAPAN NIKEL LATERIT .....</b>	<b>35</b>
4.1 Topografi dan Morfologi Daerah Penelitian .....	35
4.2 Profil Endapan Nikel Laterit.....	36
4.3 Karakteristik Petrografi <i>Bedrock</i> Endapan Nikel Laterit.....	38
4.4 Karakteristik Mineralogi Endapan Nikel Laterit Pada Zona Limonit dan Saprolit.....	42
4.5 Karakteristik Geokimia Endapan Nikel Laterit Pada Zona Limonit dan Saprolit.....	44
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>53</b>
5.1 Kesimpulan .....	53
5.2 Saran .....	54
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>55</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Peta geologi daerah sulawesi (Parkinson, 1998).....	6
2.2 Klasifikasi petrologi ofiolit (Moore, 1992).....	7
2.3 Zona gradasi nikel laterit (Ahmad, 2008).....	13
2.4 Penampang tegak endapan nikel laterit.....	15
3.1 Pengambilan sampel limonit.....	19
3.2 Pengambilan sampel saprolit.....	20
3.3 Pengambilan sampel <i>bedrock</i> .....	20
3.4 Pembuatan matriks kolom pada sampel .....	22
3.5 Proses peremukan menggunakan <i>jaw crusher</i> .....	22
3.6 Pengeringan sampel menggunakan <i>drying oven</i> .....	23
3.7 Peremukan menggunakan <i>jaw crusher</i> .....	24
3.8 Proses penyaringan material .....	25
3.9 Proses penghalusan sampel .....	25
3.10 Proses pengayakan sampel .....	26
3.11 Proses pembuatan sampel <i>pulp</i> .....	27
3.12 Penggerusan sampel .....	29
3.13 Analisis menggunakan XRD .....	30
3.14 Analisis menggunakan XRF.....	31
3.15 Sampel sayatan tipis.....	32
3.16 Pengolahan sampel sayatan tipis menggunakan mikroskop tipe <i>Nikon Eclipse</i> LV100 NPOL .....	32
3.17 Pengolahan data menggunakan <i>software Match 3</i> .....	33
3.18 Bagan alir penelitian.....	34

4.1 Kenampakan lapangan topografi daerah penelitian blok keuno .....	36
4.2 Profil laterit <i>Pit C</i> PT Djava Berkah Mineral.....	38
4.3 Sampel batuan peridotit .....	40
4.4 Hasil analisis petrografi batuan dasar .....	41
4.5 Klasifikasi batuan ultramafik menurut IUGS (Streckeisen, 1976).....	42
4.6 Difraktogram XRD sampel limonit <i>pit C</i> .....	43
4.7 Difraktogram XRD sampel saprolit <i>pit C</i> .....	44
4.8 Persentase kadar unsur Ni pada zona limonit dan saprolit .....	46
4.9 Persentase kadar unsur Fe pada zona limonit dan saprolit.....	47
4.10 Persentase kadar Si pada zona limonit dan saprolit.....	48
4.11 Persentase kadar Mg pada zona limonit dan saprolit .....	49
4.12 Persentase kadar Al pada zona limonit dan saprolit.....	50
4.13 Persentase kadar Ca pada zona limonit dan saprolit.....	51
4.14 Persentase kadar Cr pada zona limonit dan saprolit .....	52

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
4.1 Data kadar unsur zona limonit.....	45
4.2 Data kadar unsur zona saprolit.....	45

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A Peta tunjuk lokasi penelitian .....	58
B Hasil deskripsi mineral .....	60
C Hasil analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	63
D Hasil analisis <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	83

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Nikel laterit adalah produk residual pelapukan kimia pada batuan ultramafik (dunit, peridotit) dan ubahannya (serpentinit). Proses ini berlangsung selama jutaan tahun dimulai ketika batuan ultramafik tersingkap di permukaan bumi. Salah satu wilayah di Kabupaten Morowali Utara tepatnya di lokasi penelitian yaitu PT Djava Berkah Mineral merupakan salah satu perusahaan kontraktor dari PT Bukit Makmur Istindo Nikeltama yang bergerak di bidang industri pertambangan nikel laterit dan memiliki lokasi penambangan di Desa Keuno, Kecamatan Petasia Timur, Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah.

Lokasi penelitian berpotensi adanya mineral nikel yang diperoleh dari informasi geologi bahwa litologi batuan di wilayah Morowali Utara yaitu kompleks batuan ultramafik. Batuan ultramafik ini merupakan batuan dasar pembawa mineral nikel berupa batuan peridotit, dunit, dan serpentin. Batuan peridotit dan dunit adalah batuan ultramafik yang banyak mengandung mineral olivin dan piroksen (Adi, 2009). Keberadaan batuan ultramafik yang cukup melimpah dapat dikaji secara ilmiah untuk mengetahui karakteristiknya berdasarkan mineral penyusunnya, geokimia batuan, dan kaitannya dengan endapan nikel laterit.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tentang karakteristik mineralogi dan komposisi kimia endapan nikel laterit dengan melakukan analisis mineralogi dan geokimia pada *Pit C* PT Djava Berkah Mineral.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Endapan nikel laterit memiliki perbedaan karakteristik pada setiap daerah, perbedaan karakteristik ini membuat setiap tipe endapan nikel dapat berbeda. Oleh sebab itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik endapan nikel laterit, menganalisis pengaruh unsur kimia dalam penentuan jenis endapan berdasarkan batuan dasarnya dan mineral pembawa Ni. Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka rumusan masalah penelitian ini ialah:

1. Bagaimana karakteristik petrografi batuan dasar (*bedrock*) endapan nikel laterit.
2. Bagaimana karakteristik mineralogi endapan nikel laterit pada zona limonit dan saprolit.
3. Bagaimana karakteristik kimia endapan nikel laterit pada zona limonit dan saprolit.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukannya penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Menganalisis karakteristik petrografi batuan dasar (*bedrock*) endapan nikel laterit.
2. Menganalisis karakteristik mineralogi endapan nikel laterit pada zona limonit dan saprolit.
3. Menganalisis karakteristik kimia endapan nikel laterit pada zona limonit dan saprolit.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Berdasarkan tujuan di atas, penelitian ini dapat digunakan sebagai rekomendasi kepada pihak PT Djava Berkah Mineral Sulawesi Tengah dalam membuat pabrik pengolahan khususnya pada metode pengolahan dan umpan yang akan diproses oleh pabrik yang nantinya lebih efisien dan efektif berdasarkan karakteristik mineralogi dan geokimia daerah penelitian.

## 1.5 Tahapan Penelitian

Tahapan kegiatan pada penelitian ini terdiri atas lima tahapan, yaitu studi literatur, perumusan masalah, pengumpulan data, pengolahan data, dan penyusunan laporan tugas akhir.

### 1. Studi pustaka

Tahapan ini, dilakukan dengan mencari bahan-bahan pustaka yang menunjang penelitian yang diperoleh dari buku-buku, jurnal, mengenai karakteristik mineralogi dan geokimia, laporan-laporan penelitian terdahulu, informasi dari media lain seperti internet dan sebagainya.

### 2. Pengumpulan data

Data yang dikumpulkan pada penelitian ini berupa data Primer. Data primer merupakan data yang diambil secara langsung oleh peneliti di lapangan. Data Primer yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah sampel saprolit, sampel limonit, dan sampel *bedrock*.

### 3. Pengolahan dan analisis data

Data yang didapatkan selanjutnya akan dilakukan pengolahan data. Pengolahan dan analisis data dilakukan menggunakan analisis petrografi, Analisis *X-Ray diffraction* (XRD), dan *X-Ray fluorescence* (XRF). Data Primer dianalisis dengan tujuan untuk menganalisis struktur serta ukuran partikel, menganalisis jenis unsur-unsur dan untuk menganalisis komposisi mineral batuan.

### 4. Penyusunan Laporan

Tahap ini merupakan tahap terakhir dari penelitian di mana keseluruhan data diolah, diakumulasikan dan dituangkan dalam bentuk laporan hasil penelitian yang sesuai dengan format dan kaidah penulisan tugas akhir yang telah ditetapkan oleh program studi Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin.

## **1.6 Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian di PT Djawa Berkah Mineral *job site* PT Bukit Makmur Istindo Nikeltama, secara administrasi terletak di wilayah Desa Keuno, Kecamatan Petasia Timur, Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah. Secara astronomis daerah penelitian berada pada  $121^{\circ} 30' 10''$  BT dan  $2^{\circ} 10' 16''$  LS. Lokasi penelitian dilampirkan dalam bentuk peta tunjuk lokasi pada Lampiran A.

## **BAB II**

# **REGIONAL SULAWESI, GEOLOGI DAERAH PENELITIAN DAN NIKEL LATERIT**

### **2.1 Regional Sulawesi**

Sulawesi terletak pada zona konvergen antara tiga lempeng litosfer, yaitu Lempeng Australia yang bergerak ke utara, pergerakan ke barat Lempeng Pasifik, dan Lempeng Eurasia di bagian selatan-tenggara. Berdasarkan asosiasi litologi dan perkembangan tektonik, Sulawesi dan sekitarnya dibagi dalam lima provinsi tektonik, yaitu Busur Vulkanik Tersier Sulawesi bagian barat, Busur Vulkanik Minahasa Sanghihe, Sabuk Metamorfik *Cretaceous – Paleogene* yang berasosiasi dengan lapisan sedimen pelagik, Sabuk Ofiolit kapur Sulawesi bagian timur, fragmen benua mikro *Paleozoic* Banggai – Sula yang berasal dari benua Australia (Hamilton, 1979).

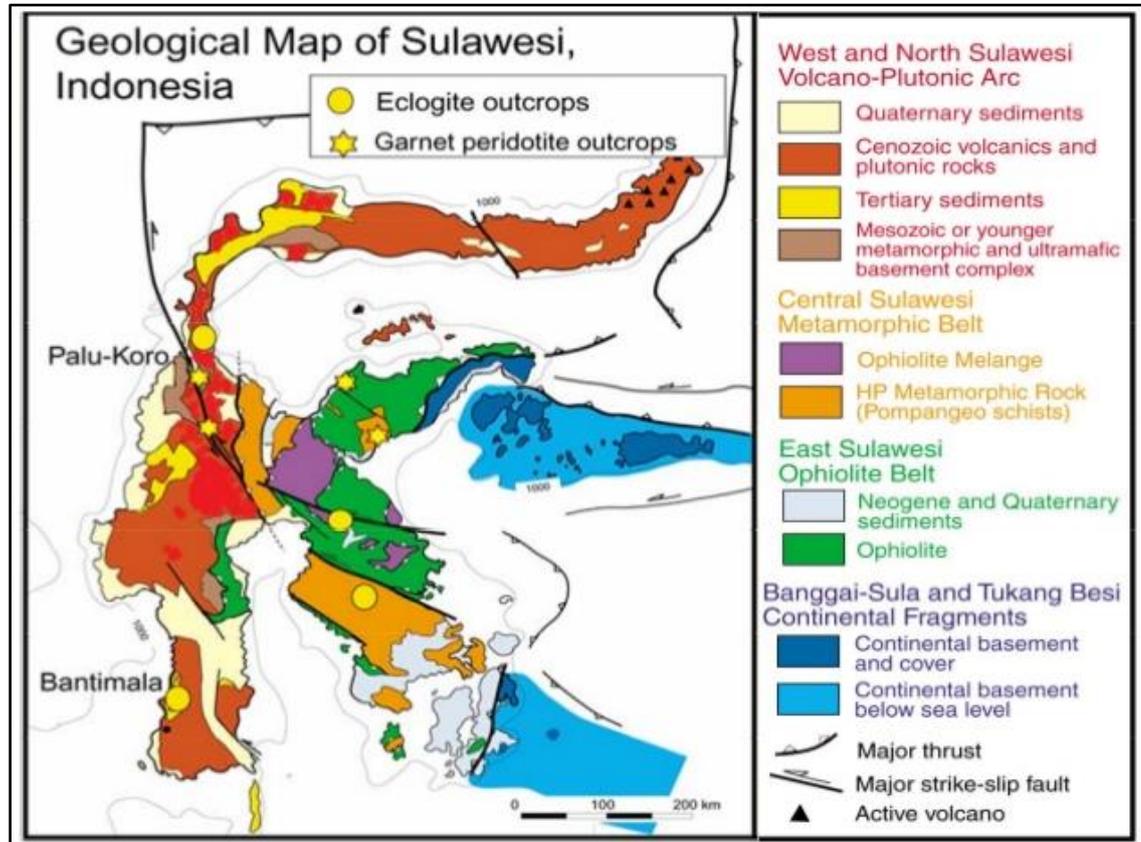
Batuan dan struktur dari bagian timur dan tenggara Sulawesi terdiri dari Busur Asimetrik dari ofiolit, melange, sedimen imbrikasi, dan batuan metamorf hasil dari subduksi. Geologi Sulawesi Timur tersusun oleh dua Zona Melange, yang terangkat sebelum dan sesudah Miosen. Melange yang terletak pada bagian selatan dan barat tersusun dari batuan sekis yang berorientasi ke arah tenggara dengan disertai beberapa batuan ultramafik relatif kecil yang penyebarannya terbatas (Hamilton, 1979).

Melange berumur (Miosen - Miosen akhir) menutupi bagian tengah dan timur laut Sulawesi. Proses pengangkatan secara intensif terjadi di sini (Golightly, 1979 dalam Suratman, 2000). Diperkirakan bahwa pengangkatan ini disebabkan oleh sesar turun dari kerak lautan sekitar kepulauan Banggai. Bagian selatan zona melange ini terdapat kompleks batuan ultrabasa Sorowako - Bahodopi yang dimana merupakan termasuk ke dalam daerah penelitian, pada daerah Sorowako - Bahodopi pengangkatannya relatif

tidak terlalu intensif dengan luas sekitar 11.000 km, diselingi oleh blok-blok sesar dari batugamping laut dalam yang berumur Kapur dan diselingi rijang.

### 2.1.1 Fisiografi Regional

Sulawesi Tengah tersusun oleh Kompleks Pompangeo, batugamping malih, dan ofiolit. Kompleks Pompangeo tersusun oleh sekis, grafit, batusabak, genes, serpentinit, kuarsit, dan batugamping malih (Simandjuntak dkk., 1997, dalam Surono, 2013). Berdasarkan pentarikan, K – Ar terhadap Kompleks Pompangeo berumur 111 juta tahun (Parkinson *et al.*, 1998). Batugamping malih yang terdiri atas pualam dan batugamping terdaunkan yang diduga berasal dari sedimen pelagos laut dalam dan berumur lebih tua daripada Kapur (Simandjuntak dkk., 1997, dalam Surono, 2013). Ofiolit juga disebut Lajur Ofiolit Sulawesi Timur, yang didominasi oleh batuan ultrabasa dan basal serta sedimen pelagik. Fisiografi regional sulawesi tergambar dalam peta geologi yang dapat dilihat pada Gambar 2.1).



Gambar 2. 1 Peta Geologi Daerah Sulawesi (Parkinson, 1998)

### 2.1.2 Stratigrafi Regional

Daerah penelitian termasuk kedalam Formasi Kompleks Ultramafik (Simandjuntak dkk., 1993). Menurut Waheed (2009) batuan ultramafik adalah batuan yang kaya akan kandungan mineral mafik (ferromagnesia) dan mengandung mineral olivin, piroksen, hornblenda, dan mika. Batuan ultramafik memiliki indeks bias lebih dari 70. Batuan ultramafik itu sendiri terdiri dari peridotit, dunit, serpentinit, harzburgit, wherlit, lherzolit.

<b>Petrologic Type of Ophiolite</b>	Linguarina (Poroshiri)	Yakuno	Papua (Horokanai)
Basaltic Volcanics and dikes	Alkali Basalt MORB	MORB Arc Tholeiite	Arc Tholeiite Boninite
Mafic-Ultramafic Cumulates	↑ Cpx, Pl PI Ol	↑ Cpx, Pl Cpx Ol	↑ Cpx, Pl Opx Ol
Residual Mantle Peridotite	Lherzolite	Cpx-bearing Harzburgite	Cpx - free Harzburgite
	————— <i>degree of mantie melting</i> —————→		
<b>Examples</b>	Alps Trinity Bay of Island	Oman Vourinos Troodos	Adamsfield Gora Krasnaya

Gambar 2.2 Klasifikasi Petrologi Ofiolit (Moores, 1992)

Stratigrafi Sulawesi tengah juga banyak di kontrol oleh sikuen ofiolit, sikuen ofiolit terdiri dari beberapa lapisan dari batuan beku ultrabasa maupun basa, hingga batuan sedimen di atasnya. Berikut urutan sekuen ofiolit yang dijelaskan pada Gambar 2.2.

### 2.1.3 Mobilitas Unsur

Mobilitas dari suatu unsur yang dijumpai pada batuan ultramafik dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Waheed, 2002):

1. Elemen yang bersifat sangat larut dan sangat mobile.
2. Mudah hilang dalam profil pelapukan dan sangat larut dalam air tanah (sedikit asam), seperti Mg, Si, Ca, Na.
3. Elemen bersifat tidak larut dan tidak mobile.
4. Tidak dapat larut dalam air tanah, sebagian besar unsur-unsurnya merupakan penyusun dari residu tanah (residual soil), seperti  $\text{Fe}^{3+}$  (*ferric*), Co, Al, Cr.
5. Elemen dengan daya larut terbatas dan mobilitas terbatas. Sebagian larut dalam air tanah yang bersifat asam, seperti Ni,  $\text{Fe}^{2+}$  (*ferrous*).

## **2.2 Geologi Daerah Penelitian**

Endapan bijih nikel yang terdapat di Blok Keuno termasuk dalam jenis laterit yang terbentuk sebagai konsentrasi residu dari hasil pelapukan mekanis dan kimiawi dari batuan asal yang bersifat ultra basa seperti peridotit, serpentinit:

### **2.2.1 Batuan asal**

Batuan asal berasal dari pembentukan endapan nikel laterit. Batuan asal di Blok Keuno merupakan batuan ultrabasa peridotit, dimana komponen utamanya terdiri dari mineral olivin yang biasanya mengandung unsur-unsur nikel dalam presentase kecil pada kisi-kisi kristalnya.

### **2.2.2 Proses serpentinisasi**

Akibat pengaruh larutan hidrotermal yang terjadi pada akhir pembentukan magma, batuan peridotit akan berubah menjadi batuan serpentinit. Proses ini dianggap sebagai awal terbentuknya endapan residu nikel. Proses serpentinisasi ini memiliki larutan yang mengandung karbon dioksida yang memegang peranan penting.

### **2.2.3 Pelapukan dan Laterisasi**

Pelapukan mekanis dan kimiawi terhadap batuan induk yang mengandung unsur-unsur Ca, Mg, Fe, Na, Si, Cr, Mn, Ni, Co mengakibatkan terjadinya desintegrasi dan dekomposisi, dimana unsur-unsur ini larut dan kemudian diendapkan lagi sebagai mineral-mineral yang menghasilkan suatu lapisan tanah laterit. Batuan yang mengandung mineral olivin akan lebih mudah lapuk dibandingkan dengan batuan yang mengandung silica. Pada kenyataannya di lapangan dapat dilihat bahwa batuan yang banyak mengandung urat-urat silika ini tahan terhadap pelapukan, sehingga sewaktu penambangan, bagian batuan ini akan didapatkan sebagai fragmen-fragmen yang besar (*boulder*) dan masih keras. Air tanah yang mengandung CO<sub>2</sub> akan menguraikan mineral yang tidak stabil pada batuan asalnya, menghasilkan Fe, Mg, Ni yang larut dan Si cenderung membentuk *suspense* koloid. Larutan Fe, cenderung teroksidasi dan mengendap sebagai ferioksida yang membentuk mineral-mineral seperti, geotit, hematit, dan limonit dekat permukaan (zona atas).

#### 2.2.4 Hidrologi

Lokasi kegiatan penelitian terdapat sungai besar dengan beberapa anak sungainya yaitu Sungai Laa dan Sungai Tambalako. Hulu sungai dari anak sungai ada yang letaknya di dalam lokasi kegiatan penelitian. Agar sungai tidak terganggu dan tercemar oleh adanya pembukaan lahan, maka nantinya tidak menambang di hulu yang merupakan mata air sungai serta sepanjang daerah aliran sungai (DAS) akan dibuat bentaran dengan lebar 3 meter di kiri kanan sungai bentaran ini tidak ditambang.

#### 2.4.5 Topografi dan Morfologi

Morfologi daerah penelitian berdasarkan kenampakan peta topografi memperlihatkan adanya proses eksogen berupa erosi dan pelapukan yang membentuk bentang alam atau morfologi yang terlihat dalam bentuk bentang alam sekarang ini. Berdasarkan relief dan beda tinggi, dapat dikelompokkan ke dalam dua satuan bentang alam yaitu:

### 1. Satuan bentang alam perbukitan bergelombang

Berdasarkan relief dan beda tinggi, satuan bentang alam perbukitan bergelombang pada daerah penelitian meliputi daerah sebelah timur daerah penelitian mencakup daerah Keuno. Beda tinggi pada satuan ini sekitar 25 – 225 m dari permukaan laut, bentuk puncak tumpul dan memanjang relatif utara-selatan, sungai yang terdapat pada satuan ini termasuk jenis periodik, dimana pada musim kemarau debit air tidak terlalu berpengaruh. Tata guna lahan berupa perkebunan dan hutan semak belukar. Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan satuan ini dicirikan oleh adanya vegetasi dengan tingkat kerapatan relatif sedang hingga rapat.

### 2. Satuan bentang alam perbukitan terjal miring

Satuan ini menempati hampir sebagian besar daerah penelitian yang berada sebelah barat daerah penelitian. Beda tinggi pada satuan ini sekitar 250– 500 meter di atas permukaan laut, bentuk puncak tumpul dan memanjang relatif utara-selatan. Tipe sungai episodik, dimana debit airnya sangat tergantung pada musim. Tata guna lahan pada satuan ini berupa hutang produksi tetap.

## **2.3 Nikel**

Nikel (Ni) merupakan logam berwarna putih keperakan yang memiliki sifat keras dan tahan terhadap korosi. Logam ini termasuk material yang cukup reaktif bila bereaksi dengan asam dan lambat bereaksi terhadap udara pada suhu dan tekanan yang normal. Logam ini juga cukup stabil dan tidak dapat bereaksi terhadap oksida, sehingga sering digunakan sebagai koin dan pelapis yang sifatnya paduan. Nikel adalah salah satu logam yang paling penting dan banyak diaplikasikan di dalam dunia industri seperti baja tahan karat dengan jumlah penggunaan 62%, sebagai *superalloy* dan paduan tanpa besi

dengan jumlah penggunaan 13% karena sifatnya tahan korosi dan suhu tinggi (Astuti, 2012).

Deposit nikel di bumi dapat diklasifikasikan dalam dua kelompok, yaitu bijih sulfida dan bijih laterit berupa oksida dan silikat. Sekitar 72% cadangan nikel dunia merupakan nikel laterit dan baru 42% saja dari cadangan tersebut yang diproduksi (Dalvi dkk., 2004). Meskipun 72% dari tambang nikel berbasis bijih laterit, 60% dari produksi primer nikel berasal dari bijih sulfida (Superiadi, 2007). Bijih nikel laterit banyak ditemukan di belahan bumi yang memiliki iklim tropis atau subtropis yang terdiri dari pelapukan batuan ultramafik yang mengandung zat besi dan magnesium kadar tinggi. Deposit sulfida nikel biasanya lebih kecil dari deposit laterit. Deposit laterit berkadar antara 1,0 – 1,5% Ni dengan rata-rata kadar nikel 0,6 – 1,5% dengan tonase yang jauh lebih besar (Yildirim dkk., 2012).

## **2.4 Nikel Laterit**

Nikel laterit adalah produk residual hasil dari pelapukan kimia pada batuan ultramafik. Proses laterisasi berlangsung selama jutaan tahun dimulai ketika batuan ultramafik tersingkap di permukaan bumi sampai menghasilkan residu nikel yang diakibatkan oleh faktor laju pelapukan, struktur geologi, iklim, topografi, reagen-reagen kimia, vegetasi, dan waktu. Pengaruh iklim tropis di Indonesia mengakibatkan proses pelapukan ini menjadi intensif serta didukung oleh pecahan bentukan geologi *metamorphic belt* di Timur dan Tenggara. Selain iklim, kondisi ini juga tidak lepas dari pengaruh reaksi kimia, struktur, dan juga topografi Sulawesi yang cocok terhadap pembentukan nikel laterit. Pelapukan pada batuan dunit dan peridotit menyebabkan unsur-unsur bermobilitas rendah sampai *immobile* seperti Ni, Fe, dan Cr mengalami pengayaan secara residu dan sekunder (Burger, 1996). Profil nikel laterit pada umumnya terdiri dari empat zona gradasi yang dapat dilihat pada Gambar 2.3 (Waheed, 2009):

1. Tanah penutup atau *Top soil (Iron capping)*

Tanah penutup atau *top soil* merupakan tanah lempung berwarna coklat kemerahan, biasanya juga terdapat sisa-sisa tumbuhan. Tebal lapisan ini bervariasi antara 0 – 2 m dengan unsur Ni < 1% dan Fe > 30%. Tekstur batuan asal tidak dapat dikenali lagi. Pada lapisan ini, banyak mengandung humus yang berfungsi menyuburkan tanah karena kandungan humus pada lapisan ini lebih banyak dibandingkan lapisan di bawahnya.

2. Zona limonit

Zona limonit merupakan zona berwarna coklat muda berbentuk lempung sampai pasir. Tekstur batuan asal mulai dapat diamati dengan tebal lapisan antara 1 – 10 m. Lapisan ini tipis pada daerah yang terjal dan unsur yang mudah larut hilang terlindi. Kadar MgO hanya tinggal < 2% berat, SiO<sub>2</sub> berkisar 2 - 5% berat, hematit sekitar 60 – 80%, dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> maksimum 7% berat. Kandungan Ni pada zona ini berada antara 1% – 1,4%. Zona ini didominasi oleh mineral geotit, magnetit, hematit, kromit, serta kuarsa sekunder.

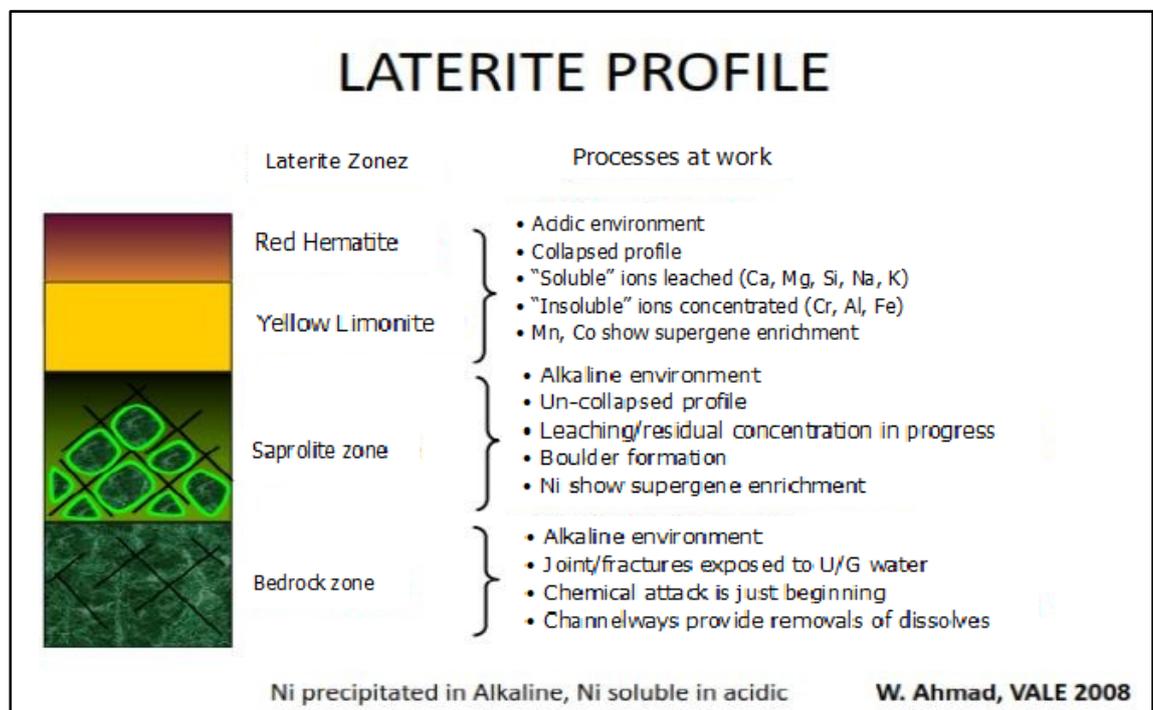
3. Zona saprolit

Zona saprolit merupakan lapisan dari batuan dasar yang telah lapuk, berupa bongkah-bongkah lunak yang berwarna coklat kekuningan sampai kehijauan. Struktur dan tekstur batuan asal masih terlihat. Perubahan geokimia zona saprolit di atas batuan asal ini tidak banyak, kadar nikel bertambah antara 2 – 4 %, sedangkan magnesium dan silikon hanya sedikit yang hilang terlindi. Zona ini terdiri dari garnierit yang menyerupai bentuk urat, mangan, serpentin, kuarsa sekunder bertekstur *boxwork* (tekstur seperti jarring laba-laba dan di beberapa tempat sudah terbentuk limonit yang mengandung Fe-hidroksida. Zona saprolit dapat dibagi menjadi dua bagian yakni *Low Saprolit Ore Zone* (LSOZ) dengan kandungan unsur Ni berkisar antara 1,4% – 1,8% dan

kandungan unsur Fe < 40 serta *High Saprolite Ore Zone* (HSOZ) dengan kandungan Ni > 1,8% dan unsur Fe < 30%.

#### 4. Batuan dasar (*bedrock*)

Batuan dasar (*bedrock*) merupakan bagian terbawah dari profil nikel laterit dengan warna hitam kehijauan yang terdiri dari bongkahan-bongkahan batuan dasar dengan ukuran >75 cm, dan secara umum sudah tidak mengandung mineral ekonomis. Kadar mineral mendekati atau sama dengan batuan asal, yaitu Fe  $\pm$  5% serta Ni dan Co antara 0,01 – 0,30%.



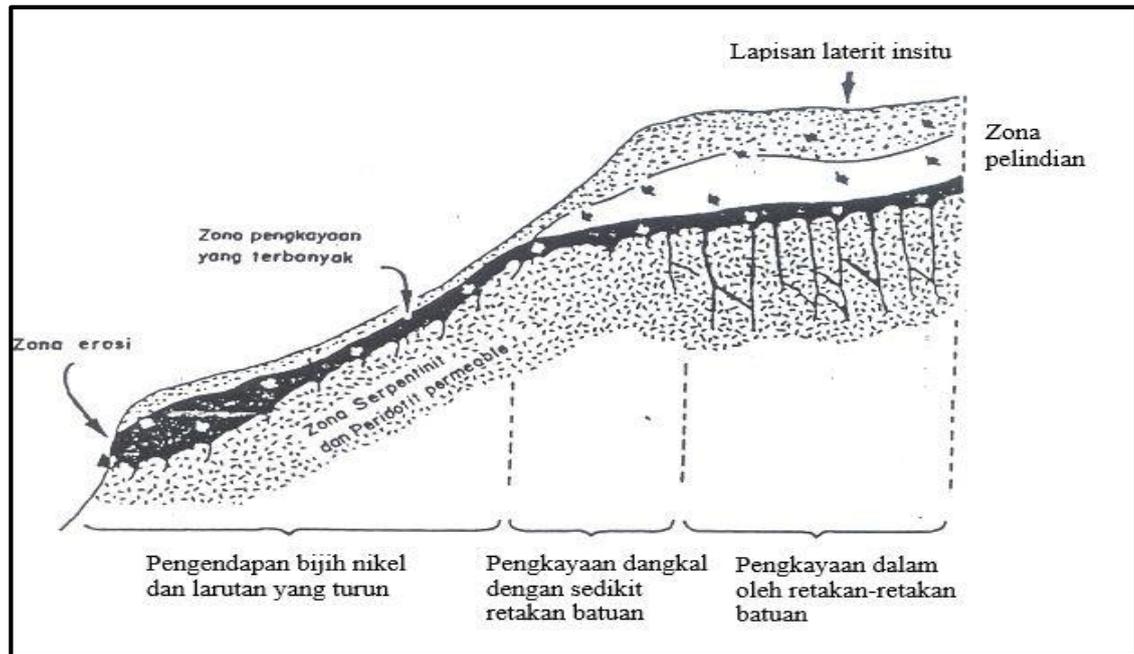
Gambar 2.3 Zona Gradasi Nikel Laterit (Ahmad, 2008)

Proses pertama dalam pembentukan nikel laterit diawali dengan adanya proses pelapukan. Pelapukan ini berlangsung pada batuan peridotit yang banyak mengandung olivin, magnesium silikat dan besi silikat yang mengandung 0,3% Ni. Batuan ini mudah mengalami pelapukan lateritik yang dapat memisahkan nikel dari silikat dan asosiasi mineral lainnya. Air resapan yang mengandung CO<sub>2</sub> yang berasal dari udara meresap ke bawah sampai ke permukaan air tanah melindih mineral primer yang tidak stabil seperti

olivin, serpentin, dan piroksen. Air meresap secara perlahan sampai batas antara zona limonit dan zona saprolit, kemudian mengalir secara lateral, lebih banyak didominasi oleh transportasi larutan secara horizontal.

Proses tersebut menghasilkan Ca dan Mg yang larut disusul dengan Si yang cenderung membentuk koloid dari partikel-partikel silika yang sangat halus sehingga memungkinkan terbentuknya mineral baru melalui pengendapan kembali unsur-unsur tersebut. Semua hasil pelarutan ini terbawa turun ke bagian bawah mengisi celah-celah dan pori-pori batuan. Unsur-unsur Ca dan Mg yang terlarut sebagai bikarbonat akan terbawa ke bawah sampai batas pelapukan dan diendapkan sebagai dolomit dan magnesit yang mengisi rekahan-rekahan pada batuan induk.

Fluktuasi muka air tanah yang berlangsung secara kontinyu 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 semakin bertambah ke dalam demikian pula ikatan-ikatan yang mengandung oksida MgO sekitar 30 – 50 % berat dan SiO<sub>2</sub> antara 35 – 40 % berat yang masih terkandung pada bongkah-bongkah di zona saprolit akan mengalami pencucian dan ikut bersama-sama dengan aliran air tanah, sehingga sedikit demi sedikit zona saprolit atas akan berubah porositasnya dan akhirnya menjadi zona limonit. Daerah zona erosi dan proses pengayaan nikel laterit dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Penampang Tegak Endapan Nikel Laterit (de Chetelat, dalam Boldt, 1967)

Bahan-bahan yang sukar atau tidak mudah larut akan tinggal pada tempatnya dan sebagian 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 dengan 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 hingga mencapai 7% dari total berat. Ni dapat mensubstitusi Mg dalam serpentin atau juga mengendap pada rekahan bersama dengan larutan yang mengandung Mg dan Si sebagai garnierit dan krisopras.

Fe yang berada di dalam larutan akan teroksidasi dan mengendap sebagai ferri-hidroksida, membentuk mineral-mineral seperti goetit, limonit, dan hematit yang dekat permukaan. Bersama mineral-mineral ini selalu ikut serta unsur Co dalam jumlah kecil. Semakin ke bawah, menuju batuan dasar maka Fe dan Co akan mengalami penurunan kadar. Pada zona saprolit Ni akan terakumulasi di dalam mineral garnierit. Akumulasi tersebut terjadi akibat sifat Ni yang berupa larutan pada kondisi oksidasi dan berupa

padatan pada kondisi silika. Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan nikel laterit adalah sebagai berikut (Ahmad, 2006):

1. Batuan asal, batuan asal untuk terbentuknya endapan nikel laterit adalah batuan ultrabasa. Terdapat elemen Ni pada olivin dan piroksin.
2. Struktur yang umum dijumpai pada zona laterit nikel adalah struktur kekar (*joint*).
3. Iklim, pergantian musim kemarau dan musim penghujan dimana terjadi kenaikan dan penurunan permukaan air tanah juga dapat menyebabkan terjadinya proses pemisahan dan akumulasi unsur-unsur.
4. Proses pelarutan kimia dan vegetasi, adalah unsur-unsur dan senyawasenyawa yang membantu mempercepat proses pelapukan batuan menjadi *soil*. Air tanah yang mengandung CO<sub>2</sub> memegang peranan penting didalam proses pelapukan kimia.
5. Topografi yang landai, akan mempunyai kesempatan untuk mengadakan penetrasi lebih dalam melalui rekahan-rekahan atau pori-pori batuan.
6. 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.

## **2.5 Analisis Mineralogi Dan Geokimia**

### **2.5.1 Mineralogi Endapan Nikel Laterit**

Batuan ultramafik merupakan batuan yang mengandung olivin magnesian (Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) yang tinggi dan rendah SiO<sub>2</sub> (< 45 wt.%). Batuan ultramafic dapat dijumpai sebagai batuan beku plutonik yang ditemukan di kerak maupun sebagai batuan metamorf yang berasal dari mantel (Hutabarat dan Ismawan, 2015).

Batuan ultramafik tersusun atas mineral primer olivine, piroksen dan hornblende yang mempunyai warna gelap dalam keadaan segar. Penguraian mineral-mineral primer tersebut yang menyebabkan unsur-unsur yang terbawa dalam larutan kemudian akan mengendap pada suatu tempat tertentu. Proses ini berjalan secara dinamis dan lambat, sehingga terbentuk profil laterit yang merupakan pengembangan dari tahapan laterisasi (Hasria dkk., 2020)

Mineral-mineral primer pada batuan ultramafik (*bedrock*) dapat menghasilkan mineral sekunder, sebagai berikut (Nahon, *et al.*, 1992):

1. olivin menjadi krisotil, magnetit, saponit, nontronit, silika, amorf dan goetit.
2. piroksin menjadi talk, smektit dan goetit.
3. serpentin menjadi smektit dan goetit.

#### 2.5.2 Geokimia Nikel Laterit

Pelapukan pada batuan dunit dan peridotit menyebabkan unsur-unsur bermobilitas rendah sampai *immobile* seperti Ni, Fe dan Cr mengalami pengayaan secara residu dan sekunder (Burger, 1996).

Selama proses pelapukan berlangsung, beberapa elemen akan tercuci dan elemen lainnya akan terkonsentrasi melalui pengayaan sekunder atau residual (Brand, *et al.*, 1998). Sebuah pengukuran *mobile element* pada endapan Ni laterit melalui tingkat perpindahan elemen terhadap aliran air (Trescases, 1975; Golightly, 1981).

Mineral dengan berat jenis tinggi akan tertinggal di permukaan sehingga mengalami pengayaan residu seperti unsur Ca, Mg, dan Si. Mineral lain yang bersifat mobile akan terlarutkan ke bawah dan membentuk suatu zona akumulasi dengan pengayaan (*supergen*) seperti Ni, Mn, dan Co (Golightly, 1979).