

**SKRIPSI**

**STUDI KARAKTERISTIK BATUAN DASAR DAN GEOKIMIA  
UNSUR PADA ENDAPAN NIKEL LATERIT DI BUKIT  
HASAN DAN BUKIT MAHALONA  
PT VALE INDONESIA Tbk**

Disusun dan diajukan oleh

**YUSRI RAHMAN**

**D62116302**



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2021**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**  
**STUDI KARAKTERISTIK BATUAN DASAR DAN GEOKIMIA**  
**UNSUR PADA ENDAPAN NIKEL LATERIT DI BUKIT**  
**HASAN DAN BUKIT MAHALONA**  
**PT VALE INDONESIA**

**Disusun dan diajukan oleh**

**Yusri Rahman**

NIM. D62116302

Telah dipertahankan di hadapan panitia ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas  
Universitas Hasanuddin  
pada tanggal 25 Februari 2021  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Mengetahui,

Pembimbing Utama



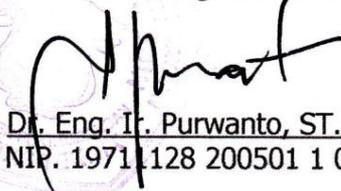
Dr. Ir. Irzal Nur, MT  
NIP. 19660409 199703 1 002

Pembimbing Pendamping

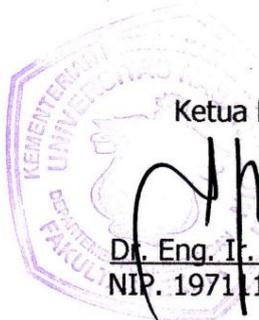


Asran Ilyas, ST., MT., Ph.D.  
NIP. 19730314 200012 1 001

Ketua Program Studi



Dr. Eng. Ir. Purwanto, ST., MT  
NIP. 19711128 200501 1 002



## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yusri Rahman  
NIM : D62116302  
Program Studi : Teknik Pertambangan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

### **STUDI KARKTERISTIK BATUAN DASAR DAN GEOKIMIA UNSUR PADA ENDAPAN NIKEL LATERIT DI BUKIT HASAN DAN BUKIT MAHALONA PT VALE INDONESIA Tbk**

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

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, 25 Februari 2021

Yang menyatakan



Tanda tangan

Yusri Rahman

## ABSTRAK

Endapan laterit nikel Soroako yang terdapat di bagian tengah Pulau Sulawesi merupakan sumber utama nikel di Indonesia. Endapan laterit nikel PT. Vale Indonesia Tbk, Soroako terdiri dari dua tipe berdasarkan tingkat serpentinisasi batuan asalnya yaitu: tipe barat dan tipe timur. Bijih tipe barat berasal dari hasil pelapukan kimia batuan dunit tak terserpentinkan; sedangkan bijih tipe timur dibentuk oleh hasil pelapukan kimia batuan ultramafik yaitu lersolit dengan tingkat serpentinisasi sedang hingga tinggi. Tujuan penelitian untuk mengetahui karakteristik kimia endapan nikel laterit pada Bukit Hasan dan Mahalona dengan menganalisis peran batuan dasar terhadap perkembangan endapan nikel lateritnya. Data yang diolah merupakan data hasil pengeboran, 41 titik bor di Bukit Hasan dan 63 titik bor di Bukit Mahalona. Metode yang digunakan adalah petrografi dan XRF (*X-ray fluorescence spectrometry*). Berdasarkan analisis petrografi diketahui bahwa batuan dasar di Bukit Hasan merupakan batuan dunit yang disusun dominan oleh olivin, dengan tingkat serpentinisasi yang rendah. Sedangkan di Bukit Mahalona batuan dasarnya adalah peridotit jenis harsburgit dan lertzolit, dengan tingkat serpentinisasi yang tinggi, yang dicirikan oleh tekstur *mesh/jala*, tekstur bastit, dan tekstur *flame*. Hasil analisis XRF menunjukkan bahwa unsur-unsur Ni, Fe, SiO<sub>2</sub>, Cr, MgO dan Mn pada Bukit Hasan relatif lebih tinggi disebabkan batuan penyusunnya adalah dunit yang mengandung > 90% olivin. Sedangkan khusus di Bukit Mahalona konsentrasi unsur Al dan Ca umumnya relatif lebih tinggi disebabkan batuan dasarnya adalah peridotit yang dominan disusun oleh piroksen. Kadar nikel (Ni) di Bukit Hasan lebih tinggi dibandingkan Bukit Mahalona karena batuan dasarnya adalah dunit yang mempunyai tingkat serpentinisasi rendah.

Kata kunci : Nikel Laterit, Batuan Dasar, Serpentinisasi, XRF (*X-ray fluorescence spectrometry*), Petrografi, Soroako

## ABSTRACT

*Soroako nickel laterite deposits in the central part of Sulawesi Island are the main source of nickel in Indonesia. Nickel laterite deposits of PT. Vale Indonesia Tbk, Soroako consists of two types based on the degree of serpentinization of the original rock, namely: the western type and the eastern type. Western type ore originates from chemical weathering of unserpentinized dunit rocks; while the eastern type ore is formed by the chemical weathering of ultramafic rock, namely lersolite with moderate to high serpentinization levels. The research objective was to determine the chemical characteristics of laterite nickel deposits in the Hasan and Mahalona hills by analyzing the role of bedrock in the development of laterite nickel deposits. The data processed is data from drilling results, 41 drill points in Hasan Hill and 63 drill points in Mahalona Hill. The methods used are petrography and XRF (X-ray fluorescence spectrometry). Based on the petrographic analysis, it is known that the bedrock in Hasan Hill is dunit rock composed predominantly by olivine, with a low serpentinization level. In the Hill of Mahalona, the bedrock is peridotite of harzburgite and lherzolite types, with a low degree of serpentinization, which is characterized by a mesh texture, bastite texture and flame texture. The results of XRF analysis show that the elements Ni, Fe, SiO<sub>2</sub>, Cr, MgO and Mn in the Hasan Hill are relatively higher because the rock is dunit containing >90% olivine. Whereas specifically in the Mahalona Hill, the concentration of Al and Ca elements is generally relatively higher because the base rock is peridotite which is predominantly composed of pyroxene. The nickel (Ni) content in Hasan Hill is higher than in Mahalona Hill because the base rock is dunit which has a low serpentinization level.*

*Keywords : Laterite, Nickel, Bedrock, Serpentinization, XRF (X-ray fluorescence spectrometry), Petrography, Soroako*

## **KATA PENGANTAR**

Puji Syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan Rahmat dan Karunia-Nya kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir yang merupakan salah satu tugas untuk mendapatkan gelar (S1). Salawat serta salam dihanturkan kepada baginda Rasulullah SAW sang pemimpin dan sang revolusioner yang telah memimpin umat manusia menuju zaman yang berjihad dalam menuntut ilmu dan memperjuangkan kebenaran.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membimbing, mengarahkan dan membantu penulis dalam penyusunan laporan ini, antara lain kepada:

1. Dr. Ir. Irzal Nur, MT selaku Kepala Laboratorium Eksplorasi Mineral dan Pembimbing I yang telah mendidik dan mengasuh penulis selama proses penyusunan tugas akhir.
2. Asran Ilyas, ST., MT., Ph.D. selaku Pembimbing II telah mengajar dan mendidik penulis selama proses penyusunan tugas akhir.
3. Moh. Erwin Syam Noor, ST selaku Supervisor Sorowako Project Area dan juga pembimbing selama melaksanakan tugas akhir di PT Vale Indonesia.
4. Croseas Tabarani Putra, ST selaku Junior Geologist PT Vale Indonesia yang telah membatu dalam proses pengerjaan tugas akhir kepada penulis.
5. Seluruh Karyawan PT. Vale Indonesia Tbk, baik SPA dan SOA yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir.
6. Dr.Eng. Purwanto, S.T., MT selaku Ketua Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Dr. Sufriadin, ST., MT dan Andi Arumansawang, ST., M.Sc. sebagai dosen tim penguji.

8. Keluarga Besar RockBolt 2016 serta Keluarga Laboratorium Eksplorasi Mineral, Departemen Teknik Pertambangan, Universitas Hasanuddin yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Keluarga Besar H. Abd Rahman Ibrahim dan Keluarga Besar H. Nais selaku orang tua yang selalu memberikan dukungan dalam bentuk apapun kepada penulis.

Penulis menyadari terdapat kekurangan dan keterbatasan selama kegiatan tugas akhir dan dalam penyusunan laporan sehingga kritik dan saran sangat penulis harapkan guna menutupi kekurangan dan keterbatasan penulis dalam penyusunan tugas akhir ini. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pembaca.

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN .....	iii
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 GEOLOGI DAN ENDAPAN NIKEL LATERIT .....	6
2.1 Geologi Regional.....	6
2.2 Geologi Regional Daerah Penelitian.....	7
2.3 Batuan Ultramafik .....	10
2.4 Endapan Nikel Laterit .....	12
2.5 Profil Laterit .....	14
2.6 Nikel Laterit.....	19
2.7 Faktor Pengontrol Nikel Laterit .....	23
BAB III METODE PENELITIAN.....	26
3.1 Pengumpulan Data.....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	37
4.1 Kimia Endapan Nikel Laterit dan Petrografi Batuan Dasar .....	37
4.2 Karakteristik Geokimia Profil Nikel Laterit di Bukit Hasan .....	38
4.3 Petrografi Batuan Bukit Hasan .....	40
4.4 Karakteristik Geokimia Bukit Mahalona .....	43

4.5	Petrografi Batuan Bukit Mahalona .....	46
4.6	Karakteristik Geokimia Endapan Nikel Laterit Pada Bukit Hasan dan Mahalona .....	50
4.7	Peran Batuan Dasar dan Hubungannya dengan Pembentukan Endapan Nikel Laterit.....	57
BAB V PENUTUP .....		59
5.1	Kesimpulan .....	59
5.2	Saran .....	60
DAFTAR PUSTAKA .....		61

## DAFTAR GAMBAR

1.1	Peta lokasi penelitian.....	5
2.1	Geologi regional daerah penelitian (Kadariusman <i>et al.</i> , 2004).....	7
2.2	Peta geologi lokal di lokasi penelitian (dimodifikasi dari Sufriadin <i>et al.</i> , 2011)9	
2.3	Profil endapan nikel laterit (Elias,2002) .....	18
2.4	Profil nikel tipe <i>hydrous silicate</i> (Freyssinet <i>et al.</i> , 2005).....	21
2.5	Profil nikel tipe <i>clay silicates</i> (Freyssinet <i>et al.</i> , 2005).....	22
2.6	Profil nikel tipe <i>oxide silicate</i> (Freyssinet <i>et al.</i> , 2005) .....	23
3.1	Aktivitas pengeboran untuk memperoleh <i>Core</i> .....	26
3.2	Kenampakan <i>Core</i> berwujud tanah ( <i>soft</i> ) dan batu ( <i>boulder</i> ) pada lapisan saprolit .....	27
3.3	Sampel disusun sebelum difoto .....	27
3.4	Proses <i>screening</i> sampel sesuai fraksi .....	28
3.5	Proses <i>quartering</i> .....	28
3.6	Proses timbang sampel dan pengeringan sampel .....	29
3.7	Sampel yang telah dikeringkan.....	29
3.8	<i>Boyd crusher</i> .....	30
3.9	<i>Splitter</i> /Homogenisasi.....	30
3.10	CRM ( <i>continous ring mill</i> ).....	31
3.11	Contoh data <i>spreadsheet</i> yang merupakan hasil gabungan dari data XRF (data kimia), data geologi, data <i>coring</i> , data preparasi dan dengan pengamatan foto <i>core</i> .....	33
3.12	Pengolahan profil nikel laterit .....	34
3.13	Klasifikasi batuan ultramafik menurut IUGS dalam Streckesen (1976).....	35
3.14	Pembuatan peta sebaran kadar .....	36
3.15	Bagan alir penelitian.....	36
4.1	Profil laterit hasil pengeboran daerah penelitian .....	37
4.2	Kenampakan petrografi sayatan tipis sampel C148972Z litologi dunit, komposisi mineral terdiri dari olivin (Ol). Terdapat sedikit mineral asesoris kromit (Cr) ...	41
4.3	Profil vertikal nikel laterit Bukit Hasan .....	41

4.4	Kenampakan petrografi sayatan tipis sampel C170443 litologi <i>Iherzolite</i> yang mencirikan Bukit Mahalona dengan komposisi mineral terdiri dari olivine (Ol), Serpentin <i>antigorite</i> (Atg) dengan tekstur <i>flame</i> , Serpentin <i>lizardite</i> (Lz) dengan tekstur <i>mesh</i> , ortopiroksin (Opx) dan klinopiroksin (Cpx) .....	47
4.5	Profil vertikal nikel laterit Bukit Mahalona .....	48
4.6	Perbandingan antara penampang profil tipe endapan laterit Bukit Hasan dan Mahalona .....	51
4.7	Persentasi kandungan unsur Ni pada Bukit Hasan dan Mahalona .....	51
4.8	Persentasi kandungan unsur Co pada Bukit Hasan dan Mahalona.....	52
4.9	Persentasi kandungan unsur Fe pada Bukit Hasan dan Mahalona.....	53
4.10	Persentasi kandungan unsur SiO <sub>2</sub> pada Bukit Hasan dan Mahalona.....	53
4.11	Persentasi kandungan unsur MgO pada Bukit Hasan dan Mahalona .....	54
4.12	Persentasi kandungan unsur Cr pada Bukit Hasan dan Mahalona .....	55
4.13	Persentasi kandungan unsur Al pada Bukit Hasan dan Mahalona.....	55
4.14	Persentasi kandungan unsur Mn pada Bukit Hasan dan Mahalona .....	56
4.15	Persentasi kandungan unsur Ca pada Bukit Hasan dan Mahalona.....	57

## DAFTAR TABEL

2.1 Peran beberapa elemen selama pelapukan laterit (Ahmad, 2009) .....	13
3.1 Contoh data statistik kadar unsur nikel.....	34
4.1 Data statistik unsur pada lapisan limonit .....	38
4.2 Data statistik unsur pada lapisan saprolit.....	39
4.3 Data statistik unsur pada lapisan <i>bedrock</i> .....	40
4.4 Data statistik unsur pada lapisan limonit .....	44
4.5 Data statistik unsur pada lapisan saprolit.....	45
4.6 Data statistik unsur pada lapisan <i>bedrock</i> .....	45
4.7 Perbandingan kadar unsur setiap Bukit .....	50

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Assay .....	64
LAMPIRAN B Peta Sebaran Kadar Ni .....	69
LAMPIRAN C Profil Nikel Laterit.....	71
LAMPIRAN D Petrografi .....	75

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Laterit adalah produk sisa pelapukan kimiawi di batuan di permukaan bumi, di mana berbagai mineral asli atau primer tidak stabil dengan adanya air, larut atau rusak dan mineral baru terbentuk yang lebih stabil. Nikel laterit merupakan produk lateritisasi batuan yang kaya Mg atau ultrabasa kandungan Ni primer 0,2-0,4% (Golightly, 1981). Batuan seperti itu umumnya dunit, harzburgit dan peridotit yang terdapat di kompleks ofiolit dan batuan intrusif mafik-ultramafik berlapis dalam kratonik. Proses dan karakter laterit yang dihasilkan dikendalikan pada skala regional dan lokal oleh interaksi dinamis dari faktor-faktor seperti iklim, topografi, tektonik, jenis batuan primer dan struktur (Brand *et al*, 1998).

Sumberdaya nikel dunia saat ini sekitar 70 % terkandung dalam bijih laterit. Akan tetapi hanya sekitar 40 % produksi nikel secara global berasal dari laterit. Indonesia merupakan penghasil Ni terbesar kedua dunia (232 kt pertahun) setelah Rusia yang memberikan sumbangan sekitar 15 % dari jumlah produksi Ni dunia (1,79 juta ton) pada tahun 2010. Endapan laterit Soroako merupakan sumber logam nikel paling penting dari Indonesia dan telah ditambang oleh PT. Inco Tbk (sekarang PT. Vale Indonesia) sejak tahun 1975 dengan hasil akhir berupa nikel *matte* (rerata 78 % Ni plus 22% S). Dua tipe bijih yang dikenal pada endapan laterit nikel Soroako berdasarkan tingkat serpentinisasi batuan protolitnya yaitu bijih tipe barat dan bijih tipe timur. Bijih tipe barat dicirikan oleh kadar Ni, olivin dan rasio silika-magnesia lebih tinggi dibandingkan dengan bijih tipe timur ( Sufriadin, 2013).

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka hal tersebutlah yang melatar belakangi penulis melakukan penelitian dalam penyelesaian tugas akhir dengan judul "Studi Karakteristik Batuan Dasar dan Geokimia Unsur pada Endapan Nikel Laterit di Bukit Hasan dan Bukit Mahalona PT Vale Indonesia Tbk"

## **1.2 Rumusan Masalah**

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

1. Bagaimana peran batuan dasar terhadap perkembangan endapan nikel laterit pada Bukit Hasan dan Bukit Mahalona ?
2. Bagaimana Perbedaan karakteristik geokimia endapan nikel laterit pada Bukit Hasan dan Bukit Mahalona ?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui peran batuan dasar terhadap perkembangan endapan Nikel Laterit pada Bukit Hasan dan Bukit Mahalona.
2. Mengetahui perbedaan karakteristik geokimia endapan nikel laterit pada Bukit Hasan dan Bukit Mahalona.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini secara umum sebagai referensi yang berkaitan dengan peran batuan dasar terhadap endapan nikel laterit dan geokimia endapan nikel laterit.

## 1.5 Tahapan Penelitian

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

### 1. Tahap persiapan

Tahapan persiapan merupakan tahapan yang berisi kegiatan pendahuluan sebelum dilakukan penelitian. Tahapan ini terdiri dari perumusan masalah yang akan diangkat dalam kegiatan penelitian dan persiapan administrasi yang terkait dalam penelitian, pengumpulan referensi atau literatur mengenai masalah yang diteliti agar dapat menunjang penelitian.

### 2. Tahap studi literatur

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

### 3. Tahap perumusan masalah

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

### 4. Tahap orientasi lapangan dan pengambilan data

Orientasi lapangan dilakukan di daerah PT Vale Indonesia Tbk. Pengambilan data dilakukan dengan mengambil beberapa data seperti kegiatan pengeboran yang merupakan data primer dan data *assay*, *collar* dan petrografi yang merupakan data sekunder.

## 5. Tahap pengolahan data

Tahapan pengolahan data menggunakan *Microsoft Excel*, kemudian membuat data statistik kimia dan profil vertikal laterit dengan menggunakan *tools "Data Analysis"* untuk mendapatkan nilai kadar rata-rata, *tools "makro"* pada *Microsoft Excel* untuk memperlihatkan profil nikel laterit dan menggunakan *software ArcGIS 10.3* untuk memudahkan mengetahui persebaran kadar nikel tiap bukit.

## 6. Tahap penyusunan laporan tugas akhir

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

## 7. Tahap seminar dan penyerahan laporan tugas akhir

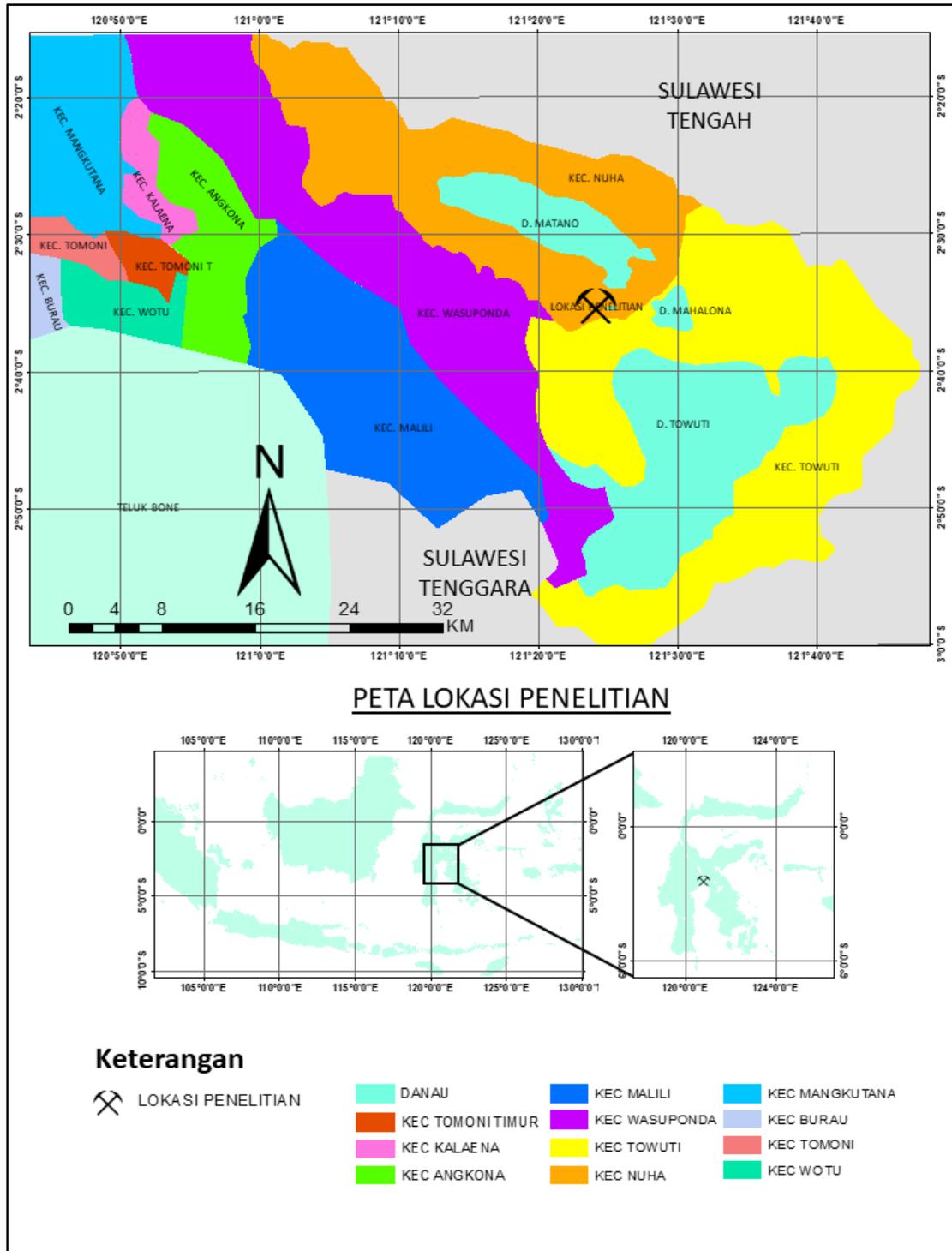
Laporan hasil penelitian akan dipresentasikan dalam seminar hasil. Koreksi dan saran pada saat seminar akan digunakan untuk merevisi kembali laporan yang telah diseminarkan.

### **1.6 Lokasi Penelitian**

Secara administratif, lokasi penelitian berada di Desa Sorowako Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan, dengan batas-batas geografis yakni di sebelah utara berbatasan dengan Danau Matano, Kabupaten Poso dan Provinsi Sulawesi Tengah, sebelah barat berbatasan dengan Wasoponda, Kecamatan Bone-Bone dan Kabupaten Luwu Utara, sebelah selatan berbatasan dengan Wawondula, Kabupaten Kendari, Provinsi Sulawesi Tenggara dan Teluk Bone, sebelah timur berbatasan dengan Danau Mahalona dan Provinsi Sulawesi Tengah.

Secara astronomis terletak di bagian selatan garis khatulistiwa yang terletak pada posisi  $2^{\circ}30'0.00''$  LS -  $2^{\circ}40'0.00''$  LS dan  $121^{\circ}20'0.00''$  BT -  $121^{\circ}30'0.00''$  BT. Kondisi topografi wilayah pusat Sorowako pada umumnya pegunungan dan berbukit.

Daerah penelitian dapat dicapai dengan menggunakan transportasi darat dari Makassar menuju daerah penelitian pada Desa Sorowako Kecamatan Nuha Kabupaten Luwu Timur yang ditempuh sekitar  $\pm 12$  jam dengan jarak sekitar  $\pm 650$  km.



Gambar 1.1 Peta lokasi penelitian

## **BAB II**

### **GEOLOGI DAN ENDAPAN NIKEL LATERIT**

#### **2.1 Geologi Regional**

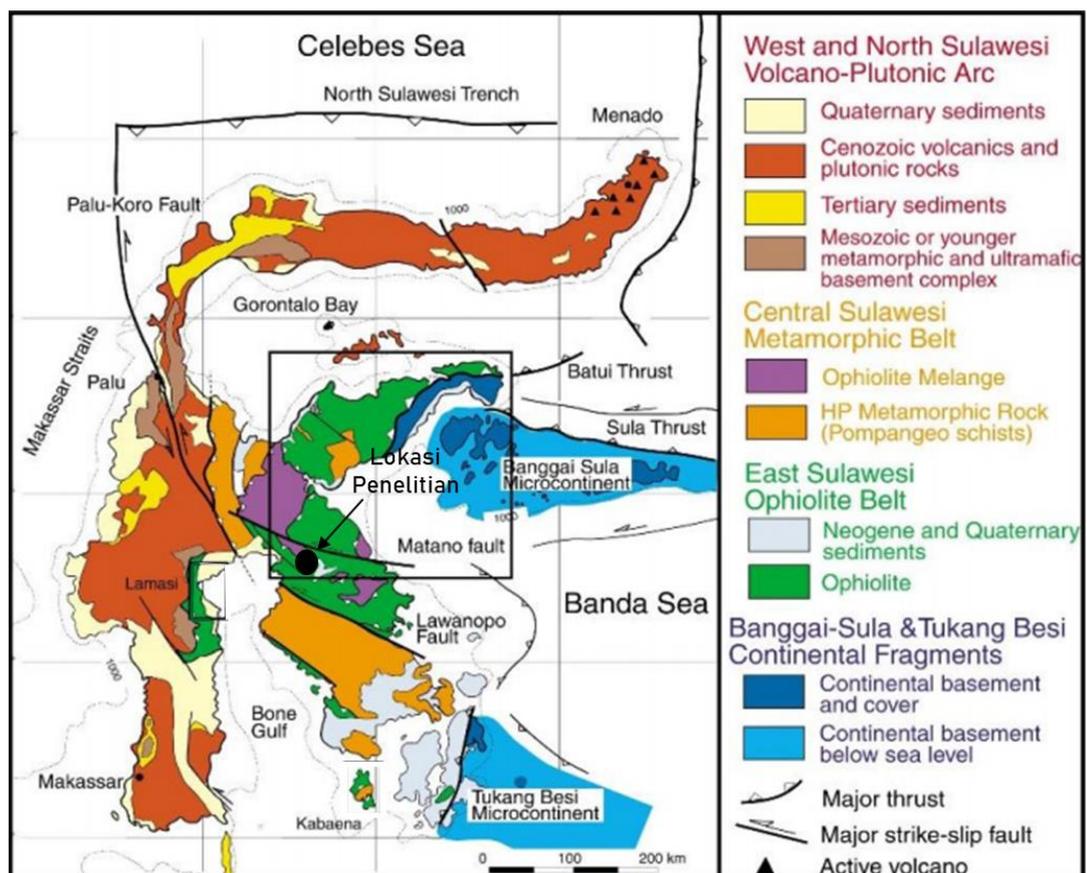
Pulau Sulawesi berbentuk K berada pada zona konvergensi tiga lempeng tektonik: *Eurasian*, Pasifik, dan India-Australia. Karena aktivitas tektonik yang kuat, struktur geologi Pulau Sulawesi sangat rumit. Empat sabuk lithotektonik diidentifikasi di pulau ini: Sabuk Batuan Gunung Api Sulawesi Barat, Sabuk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

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

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

Zona Sulawesi Barat terdiri dari subduksi berumur kapur; bagian tengah sedimen Tersier; dan batuan granit berumur tersier pada bagian atas. Zona Sulawesi Timur terdiri dari fragmen ophiolit dan kompleks subduksi. Sebuah perbedaan penting

antara dua busur dari Sulawesi adalah terjadinya asosiasi granit dan granodiorit di busur barat dan tidak ada di bagian busur timur, yang memiliki kelimpahan batuan mafik dan ultrabasa sebagai gantinya. Pada Miosen akhir, Pulau Sulawesi dibelah dari Kalimantan, pulau Sulawesi menjadi terdistorsi, dan subduksi aktif menjadi semakin lebih menonjol di sepanjang Sulawesi palung utara (*North Arm Sulawesi*). *Rifting* dari Sulawesi dari Borneo dimulai dalam waktu Paleogen dan pemisahan lengkap dicapai pada waktu Miosen (Ahmad, 2005).



Gambar 2.1 Geologi regional daerah pulau sulawesi (Kadariusman, *et. al.*, 2004)

## 2.2 Geologi Regional Daerah Penelitian

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

1. Kompleks Ultramafik

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

2. Melange Wasuponda

Melange wasuponda tersebar setempat di bagian barat daerah penelitian. Kompleks ini tersusun oleh satuan-satuan batuan terdiri dari bongkahan asing, sekis, genes, batuan mafik, amfibolit, diabas malih, batuan ultramafik (pikrit), batugamping terdaunkan juga eklogit. Formasi ini berumur Kapur.

3. Endapan Permukaan

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

4. Formasi Tomata

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

5. Formasi Masiku

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

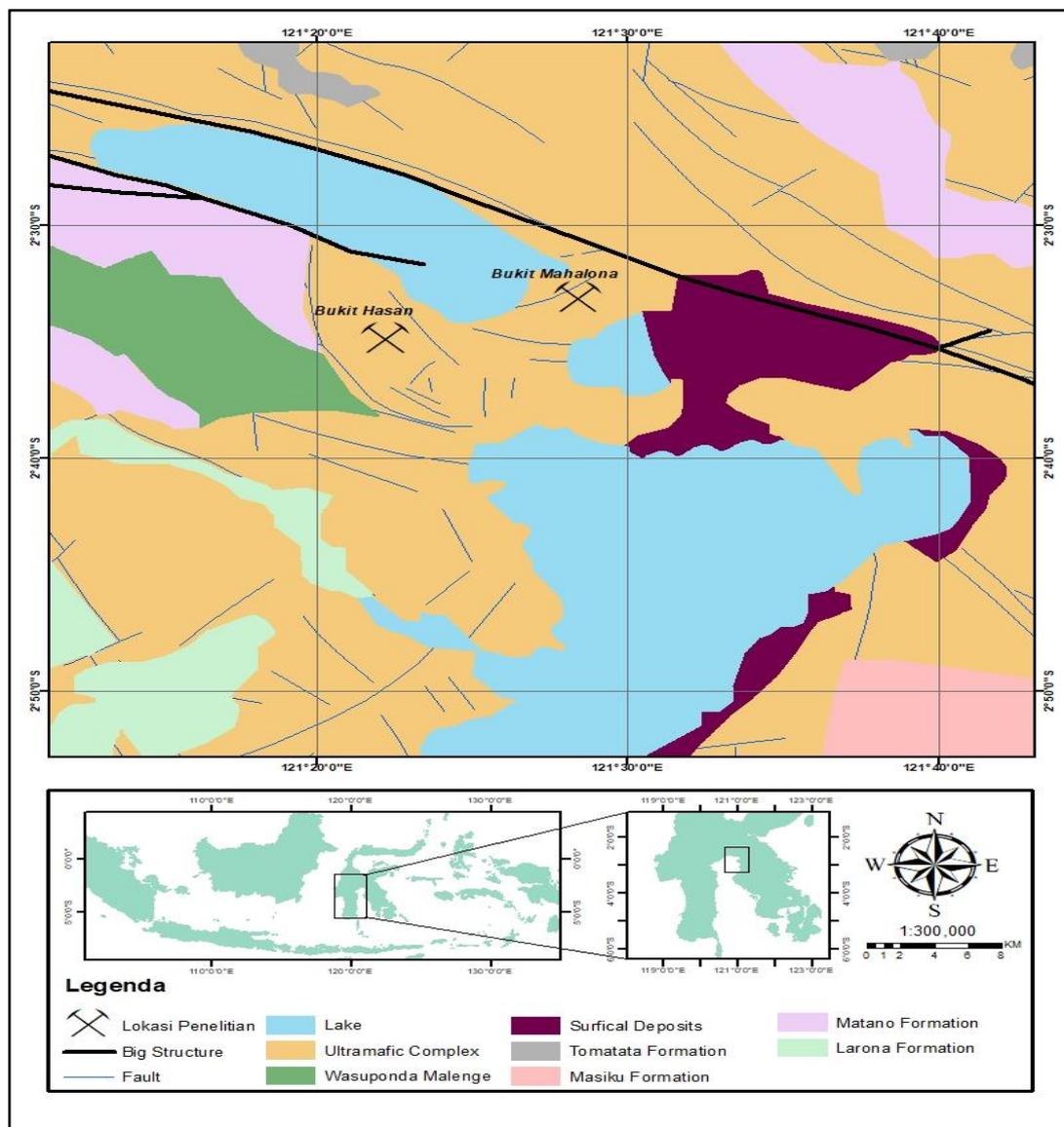
6. Formasi Matano

Formasi Matano tersebar setempat-setempat disebelah barat Danau Matano. Formasi tersusun oleh batugamping hablur, kalsilutit, napal, serpih, bersisipan rijang maupun batusabak. Formasi ini berumur Kapur Akhir.

## 7. Formasi Larona

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

Struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian dan sekitarnya secara umum berarah hampir barat-timur, melewati Kompleks Ultramafik dan Endapan Permukaan ( Gambar 2.2; Sufriaddin *et.al.*, 2011).



Gambar 2.2 Peta geologi lokal lokasi penelitian (dimodifikasi dari Sufriaddin *et.al.*, 2011)

## 2.3 Batuan Ultramafik

Batuan Ultramafik merupakan batuan yang terdiri dari mineral-mineral yang bersifat mafik (*ferromagnesian*), seperti olivin, piroksin, hornblend dan mika. Semua batuan ultramafik memiliki indeks warna >70%.

Perlu diperhatikan bahwa istilah "ultrabasa" dan "ultramafik" tidak identik. Sebagian besar batuan ultramafik juga ultrabasa, sementara tidak semua batuan ultrabasa yang ultramafik. Dengan demikian batuan yang kaya akan feldspathoid merupakan ultrabasa namun bukan batuan ultramafik, karena tidak mengandung mineral *ferromagnesian* (Ahmad, 2002).

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

### a. Peridotit

Peridotit biasanya membentuk suatu kelompok batuan ultramafik yang disebut ofiolit, umumnya membentuk tekstur kumulus yang terdiri dari atas harsburgit, lertzolit, werlite dan dunit. Peridotit tersusun atas mineral – mineral holokristalin dengan ukuran medium – kasar dan berbentuk anhedral. Komposisinya terdiri dari olivin dan piroksin. Mineral asesorisnya berupa plagioklas, *hornblende*, *biotit* dan *garnet*.

### b. Piroksinit

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

- *Orthopyroxenites: Bronzites*
- *Clinopyroxenites: Diopsidites; diallagites*

c. Hornblendit.

Hornblendit merupakan batuan ultramafik monomineral dengan komposisi mineral sepenuhnya hornblende.

d. Dunit.

Merupakan batuan yang hampir murni olivin (90-100%), umumnya hadir sebagai forsterit atau kristolit, terdapat sebagai *sill* atau korok-korok halus (dalam dimensi kecil). Dunit memiliki komposisi mineral hampir seluruhnya adalah monomineralik olivin (umumnya magnesia olivin), mineral asesorisnya meliputi kromit, magnetit, ilmenit dan spinel. Pembentukan dunit berlangsung pada kondisi padat atau hampir padat (pada temperatur yang tinggi) dalam larutan magma dan sebelum mendingin pada temperatur tersebut, batuan tersebut siap bersatu membentuk massa olivin anhedral yang saling mengikat.

Terbentuk batuan yang terdiri dari olivin murni (dunit) misalnya, membuktikan bahwa larutan magma (*liquid*) berkomposisi olivin memisah dari larutan yang lain (Ahmad, 2002).

e. Serpentin

Serpentin merupakan batuan hasil alterasi hidrotermal dari batuan ultramafik, dimana mineral-mineral olivin dan piroksin jika alterasi akan membentuk mineral serpentin. Serpentin sangat umum memiliki komposisi batuan berupa monomineralik serpentin, batuan tersebut dapat terbentuk dari serpentinisasi dunit dan peridotit . Serpentin dapat dihasilkan dari mantel oleh hidrasi dari mantel ultramafik (mantel peridotit dan dunit). Dibawah pegunungan tengah samudera (*mid Oceanic Ridge*) pada temperatur <500°C (Ahmad, 2002).

## 2.4 Serpentinisasi

Serpentinisasi menurut Palandri dan Reed (2004) adalah suatu reaksi eksotermis, hidrasi di mana air bereaksi dengan mineral mafik seperti olivin dan piroksen untuk menghasilkan lizardit, antigorit dan atau krisotil.

Beberapa hal terjadinya proses serpentinisasi adalah adanya penambahan air, adanya pelarutan magnesia (atau penambahan silika), adanya pelepasan besi dalam olivin (Fe, Mg) , konversi besi yang lepas dari ikatan ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) menjadi ferri ( $\text{Fe}^{3+}$ ) untuk membentuk magnetit berbutir halus. Akibatnya batuan terserpentinisasi umumnya akan menjadi lebih magnetik. Peran atau kemunculan mineral serpentin pada batuan dasar penghasil laterit terkadang memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap karakterisasi tanah laterit yang ada.

Secara umum batuan dasar penghasil tanah laterit merupakan batuan - batuan ultramafik dimana batuan yang rendah akan unsur Si, namun tinggi akan unsur Fe, Mg dan terdapat unsur Ni yang berasal langsung dari mantel bumi. Kehadiran mineral serpentin pada batuan ultramafik menjadi suatu peranan penting dalam pembentukan karakteristik tanah laterit yang ada terutama pada pengkayaan unsur logam Ni pada tanah laterit. Proses serpentinisasi akan menyebabkan perubahan tekstur mineralogi dan senyawa pada mineral olivin maupun piroksen pengurangan atau perubahan komposisi unsur Mg, Ni dan Fe pada mineralnya (Ahmad, 2002).

## 2.4 Endapan Nikel Laterit

Endapan nikel laterit diartikan sebagai hasil dari proses pelapukan yang intensif di daerah humid, *warm* maupun *tropic* dan kaya akan mineral lempung yang bersifat *kaolinitic* serta Fe- dan Al- *oxide* atau *hydroxide*. Endapan laterit pada

umumnya menampilkan bidang pelapisan yang baik sebagai hasil reaksi antara air hujan yang masuk ke dalam formasi dan kelembaban tanah yang naik ke atas permukaan (Maulana, 2017).

Laterit merupakan sumber dari beberapa mineral ekonomis diantaranya *bauxite* dan nikel (Ni), mangan (Mn), tembaga (Cu), emas (Au) dan *platinum group element* (PGE). Bagian paling bawah dari profil laterit disebut dengan zona saprolit yang merupakan zona pelapukan tinggi dimana tekstur primer dan *fabric* dari batuan asalnya masih dapat dilihat. Akibat fluida yang bersifat *oxidized* dan asam, maka bagian paling bawah dari zona ini dicirikan dengan tidak stabilnya *sulfide* dan karbonat dengan hasil pencucian atau *leaching* dari logam-logam *chalcophile* dan unsur-unsur alkalin. Bagian bawah dari zona saprolit ini dicirikan dengan terurainya mineral-mineral feldspar dan *ferromagnesian*, sementara Si dan Al akan tetap tinggal pada mineral lempung (*kaolinite dan halloysite*) (Maulana, 2017).

Perilaku berbagai unsur selama proses lateralisasi pada dasarnya dikendalikan oleh dua faktor, yaitu: (Ahmad, 2009).

- a. Sifat kimia tertentu dari unsur itu sendiri (geokimia)
- b. Kondisi lingkungan yang berlaku (suhu, curah hujan, kondisi batuan, kondisi pH, dll.)

Tabel 2.1 Peran beberapa elemen selama pelapukan laterit (Ahmad, 2009)

Element	Exists in the ultramafics as	Role during lateritic weathering
Ca	Cpx > Opx > Oliv	Highly mobile. Leached away.
Na	Very little	Highly mobile. Leached away.
Mg	Oliv > Opx > Cpx	Highly mobile. Mostly leached away. Some stays behind as clay minerals.
K	Very little	Highly mobile. Mostly leached away. Some stays behind as clay minerals.
Si	Opx > Cpx > Oliv	Highly mobile. Mostly leached away. Some stays behind as clay minerals and silica boxwork.
Mn	Oliv > Opx > Cpx	Semi-mobile. Forms oxide (pyrolusite) and hydroxides (manganite, pyrochroite & psilomelane)
Co	Oliv > Opx > Cpx	Semi-mobile. Follows manganese.
Ni	Oliv > Opx > Cpx	Semi-mobile. Forms nickel serpentine, nickel talc, nickel chlorite and nickel clays
Al	Cpx > Opx > Oliv	Non-mobile. Stays behind as boehmite, bauxite & gibbsite
Cr	Cpx > Opx > Oliv	Non-mobile. Stays behind as chromite
Fe	Oliv > Opx > Cpx	Non-mobile. Stays behind as oxides (hematite & maghemite) and hydroxides (turgite, goethite, hydrogoethite, limonite, ferrihydrite, xanthosiderite & esmeraldaite)

- a. Kalsium (Ca) memiliki sifat yang sangat larut dalam air tanah di daerah tropis.
- b. Magnesium (Mg) sangat larut dalam air tanah. Dalam kondisi tropis basah, magnesium dapat dengan cepat keluar dari profil laterit. Namun, di bawah kondisi iklim basah-kering, beberapa magnesium dalam bentuk lempung dalam profil laterit mungkin terhambat.
- c. Silika (Si) memiliki kelarutannya lebih rendah dari magnesium, silika sering kali dapat diendapkan dalam zona saprolitik dari profil laterit di mana magnesium secara aktif masuk ke dalam larutan.
- d. Besi (Fe) sangat bervariasi tergantung pada keadaan valensinya, dimana zat besi (Fe<sup>++</sup>) cukup larut dalam air tanah sedangkan zat besi (Fe<sup>+++</sup>) sangat tidak larut.
- e. Alumina (Al) adalah salah satu unsur yang tidak bergerak yang ada dalam profil laterit selama air tanah berada pada kisaran pH 4,5 hingga 9,5 (sebagian besar air tanah memang termasuk dalam kisaran ini)
- f. Kromium (Cr) dalam kromit tidak larut dalam air tanah dan sangat stabil, bertahan sebagai kromit di zona limonit laterit.
- g. Mn dan Co memiliki mobilitas agak rendah di perairan asam dan cenderung bergerak ke bawah profil laterit. Namun, unsur ini mencapai tingkat ketidaksuburan lebih cepat (dan lebih awal dari nikel) dan diendapkan baik di bagian bawah zona limonit atau di bagian atas zona saprolit. Konsentrasi kobalt umumnya mengikuti mangan dalam profil laterit.

## **2.5 Profil Laterit**

Profil endapan nikel laterit yang terbentuk dari hasil pelapukan batuan ultrabasa. Profil endapan nikel laterit tersebut dideskripsikan dan diterangkan oleh daya larut mineral dan kondisi aliran air tanah, secara umum terdiri dari 4 (empat)

lapisan, yaitu lapisan tanah penutup (*top soil*), lapisan limonit, transisi, lapisan saprolit dan lapisan *bedrock* (batuan dasar)

#### 1. Lapisan Tanah Penutup

Lapisan tanah penutup biasa disebut *iron capping*. Material lapisan berukuran lempung, berwarna coklat kemerahan dan biasanya terdapat juga sisa-sisa tumbuhan. Pengkayaan Fe terjadi pada mom ini karena terdiri dari konkresi Fe-Oksida (mineral *Hematite* dan *Goethite*). dan *Chromiferous* dengan kandungan nikel relatif rendah. Tebal lapisan bervariasi antara 0 - 2 m. Tekstur batuan asal sudah tidak dapat dikenali bagi *Iron Capping* merupakan bagian yang paling atas dari suatu penampang listerit Komposisinya adalah akar tumbuhan, humus, oksida besi dan sisa-sisa organik lainnya. Warna khas adalah coklat tua kehitaman dan bersifat gembur. Kadar nikelnya sangat rendah sehingga tidak diambil dalam penambangan. Ketebalan lapisan tanah penutup rata-rata 0,3 s/d 6 m berwarna merah tua, merupakan kumpulan massa *goethite* dan *limonite*. Iron capping mempunyai kadar besi yang tinggi tapi kadar nikel yang rendah kemudian terdapat mineral *hematite chromiferous*.

#### 2. Zona Limonit

Merupakan lapisan berwarna coklat muda, ukuran butir lempung sampai pasir, tekstur batuan asal mulai dapat diamati walaupun masih sangat sulit, dengan tebal lapisan berkisar antara 1 - 10 m. Lapisan ini tipis pada daerah yang terjal dan sempat hilang karena erosi Pada zona limonit hampir seluruh unsur yang mudah larut hilang terindi kadar MgO hanya tinggal kurang dari 2% berat dan kadar SiO<sub>2</sub> berkisar 2 - 5% berat. Sebaliknya kadar Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menjadi sekitar 60 - 80% berat dan kadar Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> maksimum 7% berat. Zona ini didominasi oleh mineral *Goethite*, disamping juga terdapat Magnetit. Hematit, Kromit, serta

Kuarsa sekunder. Pada *Goethite* terikat Nikel *Chrom*, *Cobal*, *Vanadium*, dan Aluminium. Merupakan hasil pelapukan lanjut dari batuan beku ultrabasa. Komposisinya meliputi oksida besi yang dominan, goethit, dan magnetit. Ketebalan lapisan ini rata-rata 8-15 m. Dalam limonit dapat dijumpai adanya akar tumbuhan, meskipun dalam persentase yang sangat kecil. Kemunculan bongkah - bongkah batuan beku ultrabasa pada zona ini tidak dominan atau hampir tidak ada, umumnya mineral-mineral di batuan beku basa-ultrabasa telah berubah menjadi serpentin akibat hasil dari pelapukan yang belum tuntas. Limonit dibedakan menjadi 2, yaitu : *red limonite* yang biasa disebut *hematite* dan *yellow limonite* yang disebut *goethite*. Biasanya pada *goethite* nikel berasosiasi dengan Fe dan menggantikan Fe sehingga *zona limonite* terjadi pengayaan unsur Ni.

### 3. Zona Transisi

Lapisan ini merupakan zona peralihan antara *limonite* bagian bawah dan *saprolite* bagian atas. Mengandung mineral *smectite (nontronite)*. Tekstur batuan induk (*Protolith*) masih terlihat. Ukuran butir cenderung lempung dan *impermeable*.

### 4. Zona Saprolit

Merupakan lapisan dari batuan dasar yang sudah kapuk, berupa bongkah - bongkah umak berwarna coklat kekuningan sampai kehijauan. Struktur dan tekstur batuan asal masih terlihat. Perubahan geokimia zona saprolit yang terletak di atas batuan asal ini tidak banyak, H<sub>2</sub>O dan Nikel bertambah dengan kadar Ni keseluruhan lapisan antara 2 - 4%, sedangkan Magnesium dan Silikon hanya sedikit yang hilang. Terjadi Zona ini terdiri dari *vein-vein Garnierite*, Mangan, Serpentin, Kuarsa sekunder bertekstur *boxwork*, Ni-Kalsedon, dan di beberapa tempat sudah terbentuk limonit yang mengandung

Fe-hidroksida. Zona ini merupakan zona pengayaan unsur Ni Komposisinya berupa oksida besi, serpentin sekitar <0,4% kuarsa magnetit dan tekstur batuan asal yang masih terlihat. Ketebalan lapisan ini berkisar 5-18 m. Kemunculan bongkah-bongkah sangat sering dan pada rekalan-rekahan batuan asal dijumpai magnesit, serpentin, krisopras dan garnierit. Bongkah batuan asal yang muncul pada umumnya memiliki kadar SiO<sub>2</sub> dan MgO yang tinggi serta Ni dan Fe yang rendah. campuran dari sisa-sisa batuan butiran halus *limonite, saprolite, vein* dari endapan garnierit. *nickeliferous quartz*, mangan dan pada beberapa kasus terdapat silika *boxwork*, bentukan dari situ zona transisi dari limonit ke *bedrock*, Terkadang terdapat mineral *quartz* yang mengisi rekahan, mineral-mineral primer yang terlapukkan *chlorite. Garnierite* di lapangan biasanya diidentifikasi sebagai *koloidal talc* dengan lebih atau kurang *nickeliferous* serpentin struktur dan tekstur batuan asal masih terlihat. Kadar Ni 1,85%, Fe 16%, MgO 25%, SiO<sub>2</sub> 35%. Lapisan ini merupakan lapisan yang bernilai ekonomis untuk ditambang sebagai bijih.

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

Merupakan bagian terbawah dari profil nikel laterit, berwarna hitam kehijauan terdiri dari bongkah-bongkah batuan dasar dengan ukuran > 75 cm dan secara umum sudah tidak mengandung mineral ekonomis. Kadar mineral mendekati atau sama dengan batuan asal, yaitu dengan kadar Fe ±5% serta Ni dan Co antara 0.01-0.30%. Bagian terbawah dari profil laterit. Tersusun atas bongkah yang lebih besar dari 75 cm dan blok peridotit (batuan dasar) dan secara umum sudah tidak mengandung mineral ekonomis (kadar logam sudah mendekati atau sama dengan batuan dasar). Batuan dasar merupakan batuan asal dari nikel laterit yang umumnya merupakan batuan beku ultrabasa yaitu harzburgit dan dunit yang pada rekahannya telah terisi oleh

oksida besi 5 - 10%, garnierit minor dan silika > 35%. Permeabilitas batuan dasar meningkat sebanding dengan intensitas serpentinisasi. Zona ini terfrakturisasi kuat, kadang membuka terisi oleh mineral garnierite dan silika. Frakturisasi ini diperkirakan menjadi penyebab adanya *root zone* yaitu zona *high grade* Ni akan tetapi posisinya tersembunyi. Ketebalan dari masing-masing lapisan tidak merata tergantung dari morfologi dan relief, umumnya endapan laterit terakumulasi banyak pada bagian bawah bukit dan relief yang landai. Sedang relief yang terjal endapan semakin menipis.

SCHEMATIC LATERITE PROFILE	COMMON NAME	APPROXIMATE ANALYSIS (%)			
		Ni	Co	Fe	MgO
	RED LIMONITE	<0.8	<0.1	>50	<0.5
	YELLOW LIMONITE	0.8 to 1.5	0.1 to 0.2	40 to 50	0.5 to 5
	TRANSITION	1.5 to 4	0.02 to 0.1	25 to 40	5 to 15
	SAPROLITE/ GARNIERITE/ SERPENTINE	1.8 to 3		10 to 25	15 to 35
	FRESH ROCK	0.3	0.01	5	35 to 45

Gambar 2.3 Profil endapan nikel laterit (Elias, 2002)

## 2.6 Nikel Laterit

Endapan nikel laterit terbentuk dari hasil proses pelapukan yang sangat intensif di daerah tropis pada batuan yang mengandung nikel seperti, dunit (olivin), peridotit (olivin+piroksin), dan serpentinit. Proses pelapukan pada batuan asal tersebut (laterisasi) menyebabkan nikel berubah menjadi larutan dan diserap oleh mineral-mineral oksida besi yang membentuk garnierit pada lapisan saprolit (Golightly, 1981 dalam Maulana, 2017).

Mineral piroksin dan olivin pada batuan asalnya mengalami proses serpentinisasi oleh akibat adanya interaksi dengan air laut (*seawater*) atau selama proses *low-grade metamorphism* atau alterasi. Pada beberapa kasus proses serpentinisasi ini terjadi sebelum adanya proses laterisasi. Alterasi olivin akibat proses hidrasi akan menyebabkan perubahan menjadi silika *amorphous*, serpentin dan limonit.

### a. Genesis Endapan Nikel Laterit

Proses pelapukan dimulai pada batuan ultramafik (peridotit, dunit, serpentinit) yang banyak mengandung mineral olivin, piroksin, magnesium silikat, dan besi silikat dengan kandungan nikel kira-kira sebesar 0.30%. Proses laterisasi pada endapan nikel laterit diartikan sebagai proses pencucian pada mineral yang mudah larut dan mineral silika dari profil laterit pada lingkungan yang bersifat asam, hangat, dan lembap, serta membentuk konsentrasi endapan hasil pengayaan proses laterisasi pada unsur Fe, Cr, Al, Ni, dan Co.

Air permukaan yang mengandung CO<sub>2</sub> dari atmosfer dan terkayakan kembali oleh material-material organik di permukaan meresap ke bawah permukaan tanah sampai pada zona pelindian (*leaching zone*), tempat terjadinya fluktuasi air tanah berlangsung. Akibat fluktuasi ini, air tanah yang kaya CO<sub>2</sub> akan mengalami kontak

dengan zona saprolit yang masih mengandung batuan asal dan melarutkan mineral-mineral yang tidak stabil seperti olivin/serpentin dan piroksin. Unsur Mg, Si, dan Ni akan larut dan terbawa sesuai dengan aliran air tanah dan akan membentuk mineral-mineral baru pada proses pengendapan kembali. Endapan besi yang bersenyawa dengan oksida akan terakumulasi dekat dengan permukaan tanah, sedangkan magnesium, nikel, dan silika akan tetap tertinggal di dalam larutan dan bergerak turun selama suplai air yang masuk ke dalam tanah terus berlangsung. Rangkaian proses ini merupakan proses pelapukan dan pelindihan atau *leaching*.

Pada proses pelapukan lebih lanjut magnesium (Mg), Silika (Si), dan Nikel (Ni) akan tertinggal di dalam larutan selama air masih bersifat asam. Tetapi jika dinetralisasi karena adanya reaksi dengan batuan dan tanah, maka zat-zat tersebut akan cenderung mengendap sebagai mineral hidrosilikat (*Ni-magnesium hidrosilicate*) yang disebut mineral garnierit  $[(Ni,Mg)_6Si_4O_{10}(OH)_8]$  atau mineral pembawa Ni.

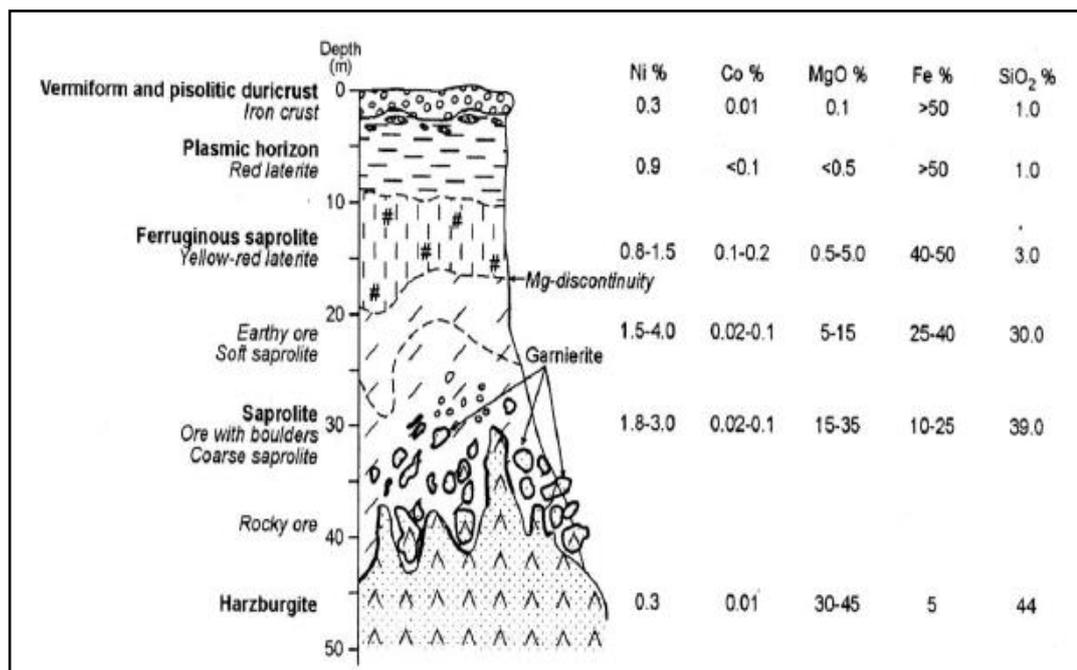
Adanya suplai air dan saluran untuk turunnya air, dalam hal ini berupa kekar atau rekahan pada batuan, maka Ni yang terbawa oleh air akan turun ke bawah, lambat laun akan terkumpul di zona ketika air sudah tidak dapat turun lagi dan tidak dapat menembus batuan dasar (*bedrock*). Ikatan dari Ni yang berasosiasi dengan Mg, SiO<sub>2</sub>, dan H akan membentuk mineral garnierit. Apabila proses ini berlangsung terus-menerus maka yang akan terjadi adalah proses pengayaan supergen atau *supergen enrichment*. Zona pengayaan supergen ini terbentuk di zona saprolit (*saprolite zone*).

Dalam satu penampang vertikal profil laterit dapat juga terbentuk zona pengayaan yang lebih dari satu, hal tersebut dapat terjadi karena muka air tanah yang selalu berubah-ubah, terutama bergantung dari perubahan musim. Di

bawah zona pengayaan supergen terdapat zona mineralisasi primer yang tidak terpengaruh oleh proses oksidasi maupun pelindihan, yang sering disebut sebagai zona batuan dasar (*bedrock*) (Maulana, 2017).

Secara mineralogi nikel laterit dapat dibagi dalam tiga kategori (Freyssinet *et. al.*, 2005):

1. *Hydrous Silicate Deposits*

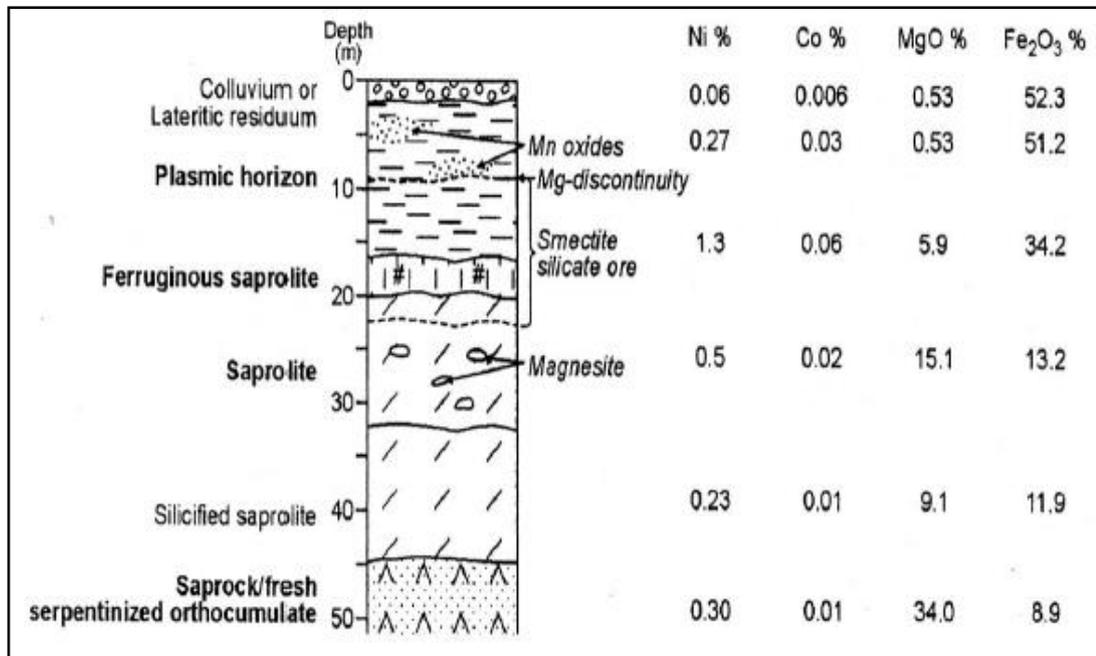


Gambar 2.4 Profil nikel tipe *hydrous silicate* (Freyssinet *et. al.*, 2005).

Pada endapan tipe *hydrous silicate* bagian bawah zona saprolit (horizon bijih) didominasi oleh mineral-mineral *hydrous* Mg-Ni silikat setempat pada zona saprolit, urat-urat halus dan *box-work* dapat terbentuk. Rekahan dan batas-batas antar butir dapat terisi oleh mineral silikat dan mineral yang kaya dengan nikel. Sebagai contoh garnierit dapat memiliki kandungan nikel sampai dengan 40%. Nikel akan mengalami pelindian dan limonit *pada fase Fe-oksihidroksida* akan bergerak turun ke bawah sebelum terendapkan kembali sebagai mineral *hydrous silicate* atau menggantikan dalam ubahan serpentinit. Pengkayaan Ni melalui proses supergen ini sangat penting untuk pembentukan endapan *hydrous silicate* pada kadar yang ekonomis. Pada

endapan tipe *hydrous silicate*, posisi muka air tanah relatif dalam, kondisi ini menyebabkan infiltrasi air yang dalam sehingga nikel lebih banyak terakumulasi pada zona saprolit bagian bawah.

## 2. Clay Silicate Deposits

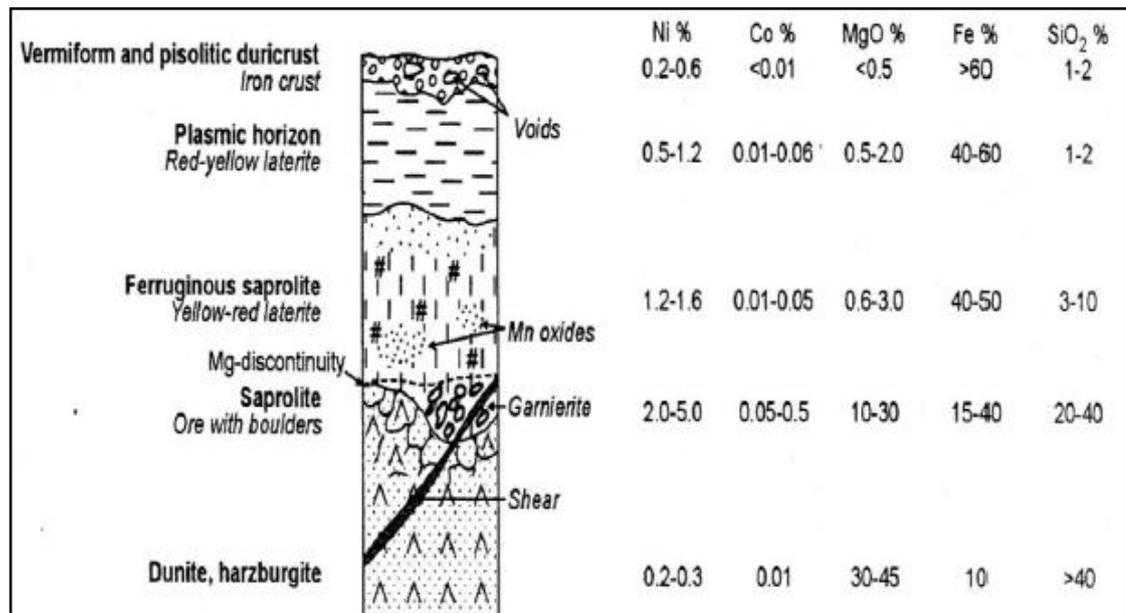


Gambar 2.5 Profil nikel tipe *clay silicate* (Freyssinet *et. al.*, 2005).

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

Pada endapan tipe *clay deposit*, posisi muka air tanah awal relatif lebih dangkal dan *drainase* terhambat, kondisi ini menyebabkan lapisan limonit lebih sering terendam air sehingga terbentuk lapisan lempung dan akumulasi Ni pada lapisan lempung tersebut.

### 3. Oxide Deposits



Gambar 2.6 Profil nikel tipe *oxide deposits* (Freyssinet *et. al.*, 2005).

*Oxide deposit* dikenal juga dengan nama endapan limonit, dimana nikel berasosiasi dengan Fe-hidroksida dengan mineral utama geotit. Kadang-kadang juga kaya dengan oksida Mn yang kaya dengan Co. Kadar Ni rata-rata pada tipe endapan ini lebih rendah 1,0-1,6%, sehingga memiliki nilai ekonomis yang kurang baik. Pada endapan tipe *oxide deposit* posisi muka air tanah awal relatif dangkal dan drainasenya tidak terhambat (infiltrasi air lancar) sehingga Ni lebih banyak terakumulasi pada zona limonit sampai saprolit bagian atas.

## 2.7 Faktor Pengontrol Nikel Laterit

Terdapat beberapa faktor yang dapat mengontrol pembentukan endapan nikel laterit, yaitu:

### a) Iklim

Iklim memiliki peran penting dalam terbentuknya endapan laterit. Temperatur yang hangat dan curah hujan yang tinggi dan ditambah dengan aktivitas biogenik yang tinggi akan mempercepat proses pelapukan kimia. Daerah beriklim tropis

dengan temperatur lebih dari 20°C yang cenderung tetap sepanjang tahun merupakan daerah yang sangat ideal untuk pembentukan endapan laterit (Ahmad, 2006). Menurut Elias (2005) curah hujan menentukan jumlah air yang melewati tanah, sehingga mempengaruhi intensitas pencucian. Sebenarnya tingkat curah hujan dapat bervariasi yang nantinya akan membentuk tanah laterit yang berbeda beda pula.

b) Topografi

Topografi akan mempengaruhi pola aliran air. Kelerengan dan relief mempengaruhi intensitas air yang masuk ke dalam tanah atau batuan dan muka air tanah (Elias, 2005). Topografi / morfologi yang tidak curam tingkat kelerengannya, maka endapan laterit masih mampu untuk ditopang oleh permukaan topografi sehingga tidak terangkut semua oleh proses erosi ataupun ketidakstabilan lereng (Maulana, 2017). Menurut Ahmad (2009) membutuhkan topografi yang tidak begitu curam. Permukaan tanah yang curam akan mempercepat erosi pada tanah laterit. Topografi yang terlalu datar dengan *drainase* yang buruk juga tidak begitu bagus, hal ini menyebabkan pencucian berjalan kurang maksimal sehingga tanah laterit sulit terbentuk.

c) Ph

Kelarutan mineral akan meningkat di perairan yang memiliki kadar pH yang rendah. Dengan demikian, air yang sedikit asam akan mempercepat proses pelapukan kimia. Air asam banyak terbentuk pada iklim tropis basah melalui hujan asam alami (Ahmad, 2009).

d) Tektonik

Tektonik dapat menghasilkan pengangkatan yang menyebabkan tanah atau batuan tersingkap dan mempercepat proses erosi, menurunkan muka air tanah, dan merubah relief. Untuk menghasilkan pembentukan endapan laterit yang stabil

diperlukan kondisi tektonik yang stabil karena dapat mengurangi proses erosi dan memperlambat gerak air tanah (Elias, 2005).

Proses tektonik yang terjadi dalam waktu yang panjang tersebut menyebabkan perkembangan rekahan dan kekar yang memudahkan peningkatan pelapukan olivin yang tidak stabil pada kondisi pelapukan di dekat permukaan (Ahmad, 2009; Thorne dkk, 2009; Ilyas dkk, 2016).

e) Struktur

Struktur geologi memiliki peran penting dalam pembentukan endapan laterit. Adanya struktur geologi seperti sesar dan kekar akan membuat batuan menjadi permeabel sehingga memudahkan air untuk dapat masuk ke dalam batuan. Masuknya air ke dalam batuan akan memudahkan proses pelapukan kimia sehingga laterisasi dapat berjalan dengan baik (Elias, 2005).

f) Batuan Asal

Laterit Ni – Fe dapat berkembang pada batuan yang mengandung mineral *ferromagnesian* yang cukup. Oleh karena itu batuan ultramafik merupakan batuan yang paling cocok untuk menghasilkan laterit Ni – Fe karena memiliki proporsi mineral *ferromagnesian* yang tinggi (Ahmad, 2006).