

**SKRIPSI**

**KARAKTERISTIK RASIO UNSUR MAJOR LATERISASI  
ULTRAMAFIK DARI FORMASI KONGLOMERAT PANDUA  
DAN ULTRAMAFIK *BEDROCK* PADA PIT LAMERURU  
KABUPATEN KONAWE UTARA SULAWESI TENGGARA**

**Disusun dan Diajukan Oleh:**

**PRIA SISKI  
D061201001**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK GEOLOGI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**



## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### KARAKTERISTIK RASIO UNSUR MAJOR LATERISASI ULTRAMAFIK DARI FORMASI KONGLOMERAT PANDUA DAN ULTRAMAFIK *BEDROCK* PADA PIT LAMERURU KABUPATEN KONAWE UTARA SULAWESI TENGGARA

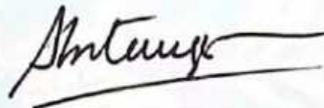
Disusun dan diajukan oleh

**PRIA SISKI**  
**D061201001**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan dinyatakan telah memenuhi syarat  
kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



**Prof. Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T., IPM**

NIP. 19650928 200003 1 002

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 di bawah ini:

Nama : Pria Siska  
NIM : D061201001  
Program Studi : Teknik Geologi  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

*“Karakteristik Rasio Unsur Major Laterisasi Ultramafik dari Formasi Konglomerat Pandua dan Ultramafik Bedrock pada Pit Lameruru Kabupaten Konawe Utara Sulawesi Tenggara”*

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

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

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

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

Makassar, 3 Oktober 2024

Yang menyatakan

  
Pria Siska



## ABSTRAK

**PRIA SISKA.** *Karakteristik Rasio Unsur Major Laterisasi Ultramafik dari Formasi Konglomerat Pandua dan Ultramafik Bedrock pada Pit Lameruru Kabupaten Konawe Utara Sulawesi Tenggara (dibimbing oleh Adi Tonggiroh)*

Daerah penelitian berada dalam wilayah PT. Stargate Pasific Resources, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara, Formasi Konglomerat Pandua dan batuan dasar ultramafik di Pit Lameruru adalah salah satu lokasi utama di mana proses laterisasi ini berlangsung secara intensif. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik laterisasi berdasarkan unsur MgO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe dan Ni, dari fragmen ultramafik Formasi Pandua dan fragmen ultramafik sebagai *bedrock* dari hasil titik pengeboran. Variabel bebas pada penelitian ini adalah variabel bebas adalah kondisi litologi, yang mencakup jenis batuan, serta karakteristik suatu litologi yang terdapat, sedangkan variabel terikat adalah nilai ketebalan, kandungan kadar unsur MgO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe dan Ni di daerah tersebut. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini mencakup pengamatan langsung dilapangan, pengumpulan data *drill hole*, analisis petrografi, serta analisis geokimia menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescence Spectrometry*). Proses pengolahan data dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak ArcGis 10.8, dan *Microsoft Excel*. Berdasarkan hasil yang diperoleh, terdapat perbedaan komposisi kimia antara batuan ultramafik dari formasi konglomerat Pandua dan batuan ultramafik sebagai *bedrock*. Perbedaan tersebut terlihat pada kandungan MgO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe dan Ni. Hasil ini menunjukkan bahwa batuan ultramafik dari formasi konglomerat Pandua telah mengalami alterasi dan proses serpentinisasi yang lebih intensif dibandingkan dengan batuan ultramafik sebagai *bedrock*.

**Kata Kunci:** Batuan Ultramafik, Nikel, Karakteristik Unsur Major



## **ABSTRACT**

**PRIA SISKA.** *Characteristic Ratio of Major Elements in Ultramafic Laterization from Pandua Conglomerate Formation and Ultramafic Bedrock at Lameruru Pit North Konawe Regency Southeast Sulawesi (guided by Adi Tonggiroh).*

*The research area is located within the concession of PT. Stargate Pacific Resources, North Konawe Regency, Southeast Sulawesi Province. The site features the Pandua Conglomerate Formation, and ultramafic bedrock in Pit Lameruru, which is a primary location for intensive laterization processes. The study aims to investigate the characteristics of lateritization based on the elements MgO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe, and Ni from ultramafic fragments of the Pandua Formation and ultramafic fragment as bedrock obtained from drilling points. The independent variable in this research is lithological condition, covering types of rocks and characteristics of the existing lithology, while the dependent variable are the thickness values and concentrations of MgO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe, and Ni in the area. The methods employed in this consist of field observations, drillhole data collection, petrographic analysis, and geochemical analysis using XRF (X-Ray Fluorescence Spectrometry). Data processing was conducted using ArcGIS 10.8 software and Microsoft Excel. Based on geochemical data, there are differences in chemical composition between ultramafic rocks from the Pandua Conglomerate Formation and ultramafic bedrock. These differences are evident in the concentrations of MgO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe, and Ni. The results indicate that ultramafic rocks from the Pandua Conglomerate Formation have undergone more intense alteration and serpentinization processes compared to ultramafic bedrock*

**Keywords:** *Ultramafic, Nickel, Characteristic Major Elements*



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....</b>	<b>xvi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Manfaat Penelitian .....	2
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Lokasi Penelitian dan Kesampaian Daerah.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Geologi Regional .....	5
2.1.1 Geomorfologi .....	5
2.1.2 Stratigrafi.....	6
2.1.3 Struktur.....	7
2.2 Batuan Ultrabasa .....	8
2.2.1 Dunit.....	9
2.2.2 Peridotit .....	10
2.2.3 Piroksenit .....	11
2.2.4 Hornblendit .....	11
2.2.5 Serpentinit .....	11
Serpentinisasi .....	12
Karakteristik Serpentinisasi pada Batuan Ultramafik .....	12
Proses Serpentinisasi pada Batuan Ultramafik .....	13
Mineralogi Serpentin.....	14



2.4	Mobilitas Geokimia Unsur pada Batuan Ultramafik .....	16
2.5	Endapan Laterit .....	17
2.6	Nikel Laterit .....	19
2.6.1	Genesa Endapan Nikel Laterit .....	20
2.6.2	Profil Laterit .....	21
2.6.3	Faktor Pembentukan Nikel Laterit .....	26
2.6.4	Penyebaran Horizontal Endapan Ni-Laterit .....	28
2.6.5	Pengayaan Supergene.....	29
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>31</b>
3.1	Variabel Penelitian .....	31
3.2	Metode Penelitian.....	31
3.3	Tahapan Penelitian .....	31
3.3.1	Tahap Pendahuluan .....	32
3.3.2	Tahap Pengambilan Data .....	32
3.3.3	Tahap Analisis Data .....	35
3.3.3.1	Analisis Data Pengeboran ( <i>Coring</i> ) .....	35
3.3.3.2	Analisis Laboratorium .....	35
3.3.4	Tahap Penyusunan Laporan .....	37
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>39</b>
4.1	Geologi Daerah Penelitian .....	39
4.1.1	Geomorfologi Daerah Penelitian .....	39
4.1.2	Struktur.....	39
4.1.3	Karakteristik Batuan Daerah Penelitian .....	40
4.2	Karakteristik Endapan Laterit Daerah Penelitian .....	44
4.2.1	Tanah Penutup.....	44
4.2.2	Zona Limonit.....	44
4.2.3	Zona <i>Saporolite</i> .....	46
4.2.4	Zona <i>Bedrock</i> .....	46
4.3	Karakteristik Batuan Asal berdasarkan Analisis XRF .....	47
4.3.1	Blok Konglomerat .....	47
4.3.1.1	Titik Bor B11A 62106b .....	47
4.3.1.2	Titik Bor 46008825 .....	50
4.3.1.3	Titik Bor 45758900 .....	54
4.3.1.4	Titik Bor L250093 .....	58
4.3.1.5	Titik Bor 44508825 .....	62
4.3.1.6	Titik Bor 43258800 .....	65
	Blok Proditit.....	69
	Titik Bor L250762 .....	69
	Titik Bor 43258225 .....	73
	Titik Bor 43258325 .....	77
	Titik Bor 44758225 .....	81



4.3.2.5	Titik Bor L4600815 .....	85
4.3.2.6	Titik Bor 45758325 .....	88
4.4	Karakteristik Profil Laterit Berdasarkan Data Geokimia.....	92
4.4.1	Blok Formasi Konglomerat Pandua (Titik Bor 46008825) .....	93
4.4.2	Blok Ultramafik sebagai (Bedrock) (Titik Bor 44758225).....	99
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>104</b>
5.1	Kesimpulan .....	104
5.2	Saran.....	106
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>107</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Peta tunjuk lokasi penelitian .....	4
Gambar 2	Bagian Selatan Lengan Tenggara Sulawesi dari Citra IFSAR (Suroño, 2013) .....	5
Gambar 3	Korelasi satuan lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi oleh Rusmana,dkk (1993) .....	6
Gambar 4	Ilustrasi skenario serpentinisasi pada kerak samudera (Li dan Lee, 2006) .....	13
Gambar 5	Dehidroksilasi pada mineral-mineral serpentin yang memiliki perbedaan struktur yang mengontrol batas stabilitas dan laju dehidrasi (Ferrand, 2019).....	15
Gambar 6	Proses pelapukan batuan asal menjadi laterit nikel (Waheed, 2002) .....	23
Gambar 7	Skema profil laterit yang berkembang di atas batu ultramafik dalam iklim tropis (zona limonit yang didominasi oksida Fe), menunjukkan komposisi kimia indikatif wt% (Elias, 2002)....	24
Gambar 8	Perbandingan skematis dari tipe profil laterit utama .....	26
Gambar 9	Klasifikasi sederhana antara bentuk lahan dan proses laterisasi (Waheed, 2006) dalam buku (Maulana, 2017) .....	28
Gambar 10	Hubungan topografi terhadap proses lateritisasi (Achmad,2001) dalam buku (Maulana, 2017) .....	28
Gambar 11	Penampang tegak dan horizontal endapan nikel laterit serta proses yang terjadi. (Golightly, 1981) dalam buku (Maulana, 2017) ..	29
Gambar 12	Aktivitas Pengeboran.....	33
Gambar 13	Hasil dari pengeboran .....	33
Gambar 14	Pemotretan core .....	34
Gambar 15	Deskripsi dan Logging.....	34
Gambar 16	Persiapan sampel untuk analisa laboratorium.....	34
	17 Pengamatan Petrografi .....	36
	18 Analisis Data Kadar menggunakan XRF .....	37
	19 Diagram Alir Penelitian .....	38



Gambar 20	Kenampakan citra satelit daerah penelitian menggunakan software Google Earth .....	39
Gambar 21	Kenampakan Struktur Kekar Daerah Penelitian .....	40
Gambar 22	Kenampakan singkapan batuan ultramafik bedrock .....	41
Gambar 23	Kenampakkan petrografis batuan Harzburgit dengan Komposisi mineral olivin (60%), orthopiroksin (30%), serpentin (8%), opa (2%) .....	41
Gambar 24	Kenampakan singkapan batuan ultramafik formasi konglomerat pandua .....	42
Gambar 25	Kenampakkan petrografis batuan Lherzolute dengan lomposisi mineral olivin (20%), klinopiroksin (55%) orthopiroksin (15%), serpentin (8%), opa (2%) .....	43
Gambar 26	Profil Laterit Daerah Penelitian .....	44
Gambar 27	Kenampakan Zona Limonit .....	45
Gambar 28	Core Zona Limonit .....	45
Gambar 29	Core Zona Saprolit – Rocky Saprolit .....	46
Gambar 30	Core Zona Bedrock .....	46
Gambar 31	Hasil analisis scatter plot antara unsur Ni vs CaO .....	47
Gambar 32	Hasil analisis scatter plot antara unsur MgO vs CaO .....	48
Gambar 33	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur CaO vs Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ...	49
Gambar 34.	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs SiO <sub>2</sub> .....	49
Gambar 35	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs MgO .....	50
Gambar 36	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs CaO .....	51
Gambar 37	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur MgO vs CaO .....	52
Gambar 38	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur CaO vs Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	52
Gambar 39	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs SiO <sub>2</sub> .....	53
	40 Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs MgO .....	54
	41 Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs CaO .....	55
	42 Hasil analisis scatter plot antara antara unsur MgO vs CaO .....	55

Gambar 43	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur CaO vs Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ...	56
Gambar 44	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs SiO <sub>2</sub> .....	57
Gambar 45	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs MgO.....	57
Gambar 46	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs CaO.....	58
Gambar 47	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur MgO vs CaO.....	59
Gambar 48	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur CaO vs Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ....	60
Gambar 49	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs SiO <sub>2</sub> .....	61
Gambar 50	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs MgO.....	61
Gambar 51	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs CaO.....	62
Gambar 52	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur MgO vs CaO ...	63
Gambar 53	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur CaO vs Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ....	63
Gambar 54	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs SiO <sub>2</sub> .....	64
Gambar 55	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs MgO.....	65
Gambar 56	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs CaO.....	66
Gambar 57	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur MgO vs CaO.....	66
Gambar 58	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur CaO vs Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ....	67
Gambar 59	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs SiO <sub>2</sub> .....	68
Gambar 60	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs MgO.....	69
Gambar 61	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs CaO.....	70
Gambar 62	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur MgO vs CaO.....	71
Gambar 63	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur CaO vs Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ....	71
Gambar 64	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs SiO <sub>2</sub> .....	72
Gambar 65	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs MgO.....	73
Gambar 66	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs CaO.....	74
Gambar 67	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur MgO vs CaO.....	75
Gambar 68	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur CaO vs Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ....	75



Gambar 69	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs SiO <sub>2</sub> .....	76
Gambar 70	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs MgO.....	77
Gambar 71	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs CaO.....	78
Gambar 72	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur MgO vs CaO.....	78
Gambar 73	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur CaO vs Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ...	79
Gambar 74	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs SiO <sub>2</sub> .....	80
Gambar 75	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs MgO.....	80
Gambar 76	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs CaO.....	81
Gambar 77	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur MgO vs CaO.....	82
Gambar 78	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur CaO vs Al <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ...	83
Gambar 79	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs SiO <sub>2</sub> .....	83
Gambar 80	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs MgO.....	84
Gambar 81	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs CaO.....	85
Gambar 82	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur MgO vs CaO.....	86
Gambar 83	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur CaO vs Al <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ...	87
Gambar 84	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs SiO <sub>2</sub> .....	87
Gambar 85	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs MgO.....	88
Gambar 86	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs CaO.....	89
Gambar 87	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur MgO vs CaO.....	90
Gambar 88	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur CaO vs Al <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ...	90
Gambar 89	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs SiO <sub>2</sub> .....	91
Gambar 90	Hasil analisis scatter plot antara antara unsur Ni vs MgO.....	92
Gambar 91	Grafik Assay unsur (a) Fe (b) MgO (c)Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> pada stasiun 46008825.....	94
	92 Grafik Assay unsur (d) SiO <sub>2</sub> (e) Ni (f) CaO pada stasiun 46008825.....	95



Gambar 93	Grafik Assay unsur (a) Fe (b) MgO (c) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> pada stasiun 44758225.....	99
Gambar 94	Grafik Assay unsur (d) SiO <sub>2</sub> (e) Ni (f) CaO pada stasiun 44758225.....	100



## DAFTAR TABEL

Tabel 1	Peran beberapa elemen selama pelapukan laterit (Waheed, 2009) .....	18
---------	---	----



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Geokimia Unsur .....	110
Lampiran 2	Profil Laterit.....	116
Lampiran 3	Petrogafi Litologi Daerah Penelitian .....	118
Lampiran 4	Peta Stasiun Titik Pengeboran .....	122
Lampiran 5	Peta Sebaran Ni.....	123



## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
%	Persen
o „ „“	Derajat Menit Detik
>	Lebih dari
<	Kurang dari
C	<i>Celcius</i>
MgO	Magnesium Oksida
CaO	Kalsium Oksida
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Aluminium Oksida
SiO <sub>2</sub>	Silikon Dioksida
Fe	Besi
Ni	Nikel
Mg	Magnesium
Si	Silikon
Ca	Kalsium
Cr	Krom
Co	Kobalt
Al	Aluminium
pH	<i>Potential of Hydrogen</i>
Au	Emas
Mn	Mangan
IUP	Izin Usaha Pertambangan
BT	Bujur Timur
LS	Lintang Selatan
XRF	<i>X-Ray Fluorescence</i>
BIG	Badan Informasi Geospasial
ITC	<i>International Terrain Classification</i>
DEM	<i>Digital Elevation Model</i>
Tmpp	Formasi Pandua
Ku	Batuan Ofiolit
Dkk	Dan kawan-kawan
N	<i>North</i>
	<i>East</i>
	<i>Global Positionin System</i>
	Hektar



Hcl	Hidrogen klorida
Km	Kilometer
Ol	Olivin
OPx	Orthopiroksin
Cpx	Klinopiroksin
Spt	Serpentin
Opq	Opaq
Md	Massa Dasar
//- Nikol	Nikol Sejajar
X-Nikol	Nikol Silang
Lim	Limonit
Sap	Saprolit
BR	<i>Bedrock</i>



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala berkat rahmat hidayah-Nya serta kesehatan yang selalu diberikan dan Sholawat serta salam tak lupa kami haturkan kepada junjungan kita, Rasulullah Sallallahu Alaihi Wasallam yang telah menjadi teladan terbaik bagi umatnya, sehingga proses penyusunan Tugas Akhir yang berjudul **"Karakteristik Rasio Unsur Major Laterisasi Ultramafik dari Formasi Konglomerat Pandua dan Ultramafik Bedrock pada Pit Lameruru PT Stargate Pasific Resources Kabupaten Konawe Utara Sulawesi Tenggara"** ini dapat berjalan dengan baik dan lancar sehingga harapannya laporan ini dapat menjadi pembelajaran untuk diri sendiri dan bermanfaat untuk orang lain. Tugas Akhir ini adalah salah satu dari beberapa persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan dan memperoleh gelar sarjana pada Program Studi S1 Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Dengan demikian penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membimbing, mengarahkan dan membantu penulis baik berupa bantuan moril maupun materil dalam penyusunan laporan ini, antara lain:

1. Bapak Prof. Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T.,IPM sebagai pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan, saran, dukungan yang sangat berharga dan atas kepercayaan dan keyakinan yang diberikan selama proses penulisan ini, hingga penulis dapat menyelesaikan laporan ini.
2. Bapak Dr.Ir. Kaharuddin MS.,M.T serta Ibu Prof. Dr. Ir. Hj. Rohaya Langkoke M.T, sebagai dosen penguji yang telah meluangkan waktunya dan ilmunya.
3. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng sebagai Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak dan Ibu dosen serta Staff Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin atas segala ilmu yang telah dicurahkan dan bimbingannya serta bantuannya selama penulis melakukan pengurusan adminstrasi penelitian.



ahanda Samsuddin, ibunda Rosna, saudari Ika Puspita Rosana, saudari ia Riska, serta keponakan yang selalu mendoakan tanpa pamrih dan mberikan kasih sayang tiada habisnya serta dukungan baik moril maupun terial kepada penulis, dengan adanya kalian maka penulis sampai tahap ini

dan semoga bisa menjadi anak yang membanggakan serta sukses dunia akhirat.

6. Bapak Eko Setyo Broto selaku Kepala Teknik Tambang PT Stargate Pasific Resources tempat penulis melakukan kerja praktek dan pengambilan data dalam pengerjaan tugas akhir.
7. Bapak Rendra, Muh Fajrin selaku pembimbing dalam pelaksanaan kerja praktek dan tugas akhir pada PT Stargate Pasific Resources, serta saudari Wahyuni, Venny Ayu Syafriani dan saudari yang berada di mess 2, yang telah membantu dan menjadi saudara yang baik untuk penulis selama pengambilan tugas akhir.
8. Saudari Ananda Nur Amalia Arfan, Intan Purnamasari, Ririn Sriwahyuni, yang telah siap siaga membantu penulis kapanpun dalam menyelesaikan skripsi penulis dengan senang hati dan telah mencurahkan waktunya untuk mendengarkan cerita dari penulis.
9. Saudari Sartika Pada, Nurhikmah Widyaningsih, yang senantiasa menemani dan membantu penulis pada masa-masa diakhir kritis, serta selalu mendengarkan cerita penulis.
10. Saudara Muh Yogi. NR, Dwi Randi Murhum, Muhammad Sutan, saudari Andriani Futel yang telah menjadi teman dari awal masuk perkuliahan Geologi Unhas, hingga sekarang.
11. Himpunan Mahasiswa Geologi (HMG FT-UH) yang telah menjadi wadah dalam pengembangan diri penulis, serta komandan yang telah selalu mencurahkan waktunya untuk diskusi serta menemani penulis hingga dalam pembuatan laporan.
12. Teman-teman angkatan Teknik Geologi 2020 (RADAR) atas dukungan dan bantuannya selama ini, dan telah bersamai dikala susah-senang bersama, dan menciptakan momen-momen yang indah, semoga kelak teman-teman menjadi manusia yang sukses dunia dan akhirat.
13. Diri sendiri yang selalu berusaha untuk mencapai target tiap semester dan



mpu menyelesaikan hingga berada ditahap ini, yang selalu berjuang demi ahagian sekitarnya, serta senantiasa berusaha melakukan yang terbaik, melewati berbagai drama kehidupan kedepannya

14. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, atas segala bantuan dan dorongan yang diberikan selama ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini masih sangat jauh dari kesempurnaan, sehingga segala saran dan kritik yang sifatnya membangun sangat diperlukan dalam penyempurnaan laporan ni.

Akhir kata penulis mohon maaf kepada semua pihak apabila terdapat kesalahan kata dalam laporan tugas akhir ini dan semoga dapat berguna bagi semua pihak yang menggunakannya. Aamiin.

Makassar, 3 Oktober 2024



Penulis



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Laterisasi pada batuan ultramafik adalah fenomena geologis yang terjadi di daerah tropis dengan curah hujan tinggi dan suhu hangat. Proses ini menyebabkan pelapukan kimia yang intensif pada batuan ultramafik, menghasilkan endapan nikel laterit yang bernilai ekonomi tinggi (Elias, 2002). Pada batuan ultramafik, laterisasi terutama melibatkan transformasi mineral-mineral primer menjadi mineral-mineral sekunder yang kaya akan besi, aluminium, dan nikel.

Kabupaten Konawe Utara di Sulawesi Tenggara adalah salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki potensi besar untuk endapan nikel laterit. Formasi Konglomerat Pandua dan batuan dasar ultramafik di Pit Lameruru adalah salah satu lokasi utama di mana proses laterisasi ini berlangsung secara intensif. PT Stargate Pasific Resources telah melakukan eksplorasi di daerah ini untuk mengidentifikasi dan memanfaatkan sumber daya nikel yang ada.

Rasio unsur major seperti MgO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe dan Ni adalah indikator penting dalam meneliti proses laterisasi dan potensi endapan nikel laterit. Dari analisis rasio tersebut dapat memberikan suatu pengetahuan mengenai intensitas pelapukan dan konsentrasi nikel yang terbentuk selama proses laterisasi. Dengan memahami karakteristik rasio unsur major, dapat ditentukan kualitas dan kuantitas endapan nikel laterit, yang berguna untuk perencanaan eksplorasi dan penambangan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik rasio unsur major dalam proses laterisasi batuan ultramafik dari Formasi Konglomerat Pandua dan batuan dasar ultramafik di Pit Lameruru. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam memahami proses geokimia selama laterisasi dan membantu dalam pengelolaan sumber daya mineral yang lebih efektif

di wilayah tersebut.



## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian sebelumnya, maka dapat dirumuskan permasalahan, yang dijumpai pada penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Mempelajari karakteristik laterisasi berdasarkan unsur MgO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe dan Ni dari fragmen ultramafik Formasi Pandua
2. Mempelajari karakteristik berdasarkan unsur MgO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe dan Ni dari ultramafik sebagai bedrock.
3. Menganalisa perbedaan unsur MgO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe dan Ni pada fragmen ultramafik formasi pandua dan ultramafik sebagai *bedrock*.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk karakteristik laterisasi berdasarkan unsur MgO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe dan Ni dari fragmen ultramafik Formasi Pandua dan fragmen ultramafik sebagai *bedrock*. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisa karakteristik laterisasi berdasarkan unsur MgO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe dan Ni dari fragmen ultramafik Formasi Pandua
2. Untuk menganalisa karakteristik berdasarkan unsur MgO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe dan Ni dari ultramafik sebagai *bedrock*
3. Untuk menganalisa perbedaan unsur MgO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe dan Ni pada fragmen ultramafik formasi pandua dan ultramafik sebagai *bedrock*.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian terkait karakteristik unsur major pada fragmen ultramafik Formasi Pandua Formasi dan ultramafik sebagai bedrock yang terdapat pada Pit Lameruru PT Stargate Pasific Resources ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk mengasah serta mengaplikasikan ilmu geologi yang penulis dapatkan selama menjalani perkuliahan tersebut. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan manfaat di beberapa aspek, seperti:

apat menambah wawasan dan pengetahuan tentang karakteristik unsur ajor serta litologi yang terdapat pada laterisasi.



2. Dapat dijadikan data tambahan untuk keberlangsungan daerah eksplorasi Pit Lameruru maupun wilayah pertambangan lain dalam penambangan untuk acuan mendapatkan kadar yang diinginkan.
3. Dapat dijadikan referensi dan rujukan dalam bidang pendidikan, khususnya pada bidang ilmu kebumihan seperti geologi, maupun industri pertambangan.

## 1.5 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, berfokus kepada analisa suatu kondisi litologi yang terdapatkan pada daerah penelitian, menggunakan cakupan dengan mengkorelasikan data litologi tersebut dengan karakteristik geokimia dari endapan laterit pada titik pengeboran yang mencakup aspek kadar unsur MgO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe dan Ni, melalui analisa laboratorium berupa analisa XRF dan petrografi.

## 1.6 Lokasi Penelitian dan Kesampaian Daerah

Daerah penelitian berada pada Lokasi IUP PT. Stargate Pasific Resources yang secara administratif terletak pada wilayah Desa Molore, Kecamatan Langgikima, Kabupaten Konawe Utara, Sulawesi Tenggara. Secara geografis terletak di antara koordinat 122°16'59" BT dan 122°17'50" BT hingga 3°19'35" LS dan 3°19'46" LS. Daerah penelitian tersebut dapat di tempuh melalui jalur transportasi udara dengan waktu tempuh ±1 jam. Penerbangan dapat ditempuh sekitar 50m dan angkutan darat ke lokasi penelitian ditempuh sekitar ±4 jam dan angkutan laut ke lokasi pengambilan data ditempuh sekitar ±5 menit, ditampilkan pada Gambar 1.





Gambar 1 Peta tunjuk lokasi penelitian



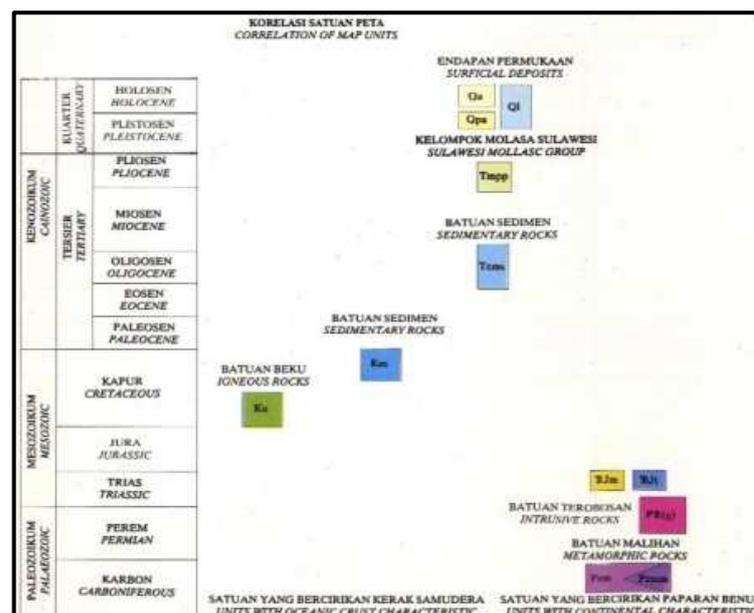


Satuan morfologi pegunungan merupakan yang terluas di kawasan ini, meliputi Pegunungan Mengkoka, Pegunungan Tangkeleboke, Pegunungan Mendoke, dan Pegunungan Rumbia, yang terpisah di ujung selatan Lengan Tenggara. Satuan morfologi ini memiliki topografi yang kasar dengan kemiringan lereng yang tinggi. Rangkaian pegunungan dalam satuan ini menunjukkan pola hampir sejajar yang mengarah barat laut-tenggara, sejalan dengan pola struktur sesar regional di kawasan tersebut. Pola ini mengindikasikan bahwa pembentukan morfologi pegunungan sangat terkait dengan aktivitas sesar regional.

Satuan pegunungan ini terutama terdiri dari batuan malihan, dengan beberapa bagian yang dibentuk oleh batuan ofiolit. Terdapat perbedaan morfologi yang mencolok antara kedua jenis batuan tersebut. Pegunungan yang terdiri dari batuan ofiolit memiliki punggung gunung yang panjang dan lurus, dengan lereng yang relatif lebih datar dan kemiringan yang tajam. Di sisi lain, pegunungan yang terbentuk dari batuan malihan memiliki punggung gunung yang terputus-putus dengan lereng yang tidak rata, meskipun tetap bersudut tajam (Simandjuntak, dkk, 1993).

### 2.1.2 Stratigrafi

Secara umum stratigrafi regional daerah penelitian termasuk pada lembar Lasusua-Kendari oleh Rusmana, dkk (1993) (Gambar 3), pada daerah penelitian terdapat dua formasi satuan batuan dari yang paling tua ke muda sebagai berikut :



ar 3 Korelasi satuan lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi oleh Rusmana, dkk (1993)



**Batuan Ofiolit (Ku)** terdiri atas peridotit, dunit dan serpentinit. Serpentinit berwarna kelabu tua sampai kehitaman; padu dan pejal. Batuannya bertekstur afanitik dengan susunan mineral antigorit, lempung dan magnetit. Umumnya memperlihatkan struktur kekar dan cermin sesar yang berukuran megaskopis. Dunit, kehitaman; padu dan pejal, bertekstur afanitik. Mineral penyusunnya ialah olivin, piroksin, plagioklas, sedikit serpentinit dan magnetit; berbutir halus sampai sedang. Mineral utama olivin berjumlah sekitar 90%. Tampak adanya penyimpangan dan pelengkungan kembaran yang dijumpai pada piroksin, mencirikan adanya gejala deformasi yang dialami oleh batuan ini. Di beberapa tempat dunit terserpentinkan kuat yang ditunjukkan oleh struktur sisa seperti rijang dan barik-barik mineral olivin dan piroksin, serpentinit sebagai mineral pengganti. Peridotit terdiri atas jenis harzburgit dan lherzolit. Harzburgit, hijau sampai kehitaman, holokristalin, padu dan pejal. Mineralnya halus sampai kasar, terdiri atas olivin (60%) dan piroksin (40%). Di beberapa tempat menunjukkan struktur perdaunan. Hasil penghabluran ulang pada mineral piroksin dan olivin mencirikan batas masing-masing kristal bergerigi. Lherzolit, hijau kehitaman; holokristalin, padu dan pejal. Mineral penyusunnya ialah olivin (45%), piroksin (25%), dan sisanya epidot, yakut, klorit, dan bijih dengan mineral berukuran halus sampai kasar. Satuan batuan ini diperkirakan berumur Kapur.

**Formasi Pandua (Tmpp)** terdiri atas konglomerat, batupasir dan batulempung dengan sisipan lanau. Formasi ini dibandingkan dengan formasi Langkowala di lembar Kolaka (Simanjuntak, dkk, 1984) yang berumur Miosen Akhir-Pliosen Awal. Lingkungan pengendapannya darat hingga laut dangkal antara litoral hingga neritik pinggir, tebalnya beberapa meter sampai puluhan meter, setempat mencapai lebih dari 100 m. Satuan ini menindih tek selaras formasi yang lebih tua. Sebarannya terdapat di bagian timurlaut dan utara lembar, dan sebagian di P. Manui (Rusmana, dkk, 1993)

### 2.1.3 Struktur



Struktur geologi Lembar Lasusua-Kendari memperlihatkan ciri kompleks dari pinggiran benua yang aktif. Berdasarkan struktur, himpunan batuan, rafi dan umur, daerah ini dapat dibagi menjadi dua (2) domain yang sangat

berbeda, yakni: 1) *allochton* : ofiolit dan malihan , dan 2) *autochton*: batuan gunungapi dan pluton Tersier dan pinggiran benua *Sundaland*, serta kelompok molasa Sulawesi. Lembar Lasusua, sebagaimana halnya daerah Sulawesi bagian timur, memperlihatkan struktur yang sangat rumit. Hal ini disebabkan oleh pengaruh pergerakan tektonik yang telah berulang kali terjadi di daerah ini.

Struktur geologi yang dijumpai di daerah kegiatan adalah sesar, lipatan dan kekar. Sesar dan kelurusan umumnya berarah baratlaut–tenggara searah dengan Sesar geser jurus mengiri Lasolo. Sesar Lasolo aktif hingga kini, yang dibuktikan dengan adanya mata air panas di Desa Sonai, Kecamatan Pondidaha pada batugamping terumbu yang berumur Holosen dan jalur sesar tersebut di tenggara Tinobu. Sesar tersebut diduga ada kaitannya dengan Sesar Sorong yang aktif kembali pada Kala Oligosen (Simandjuntak, dkk, 1983).

Sesar naik ditemukan di daerah Wawo, sebelah barat Tampakura dan di Tanjung Labuandala di selatan Lasolo; yaitu beranjaknya batuan ofiolit ke atas Batuan Malihan Mekonga, Formasi Meluhu dan Formasi Matano. Sesar Anggowala juga merupakan sesar utama, sesar mendatar menganan (dextral), mempunyai arah baratlaut-tenggara. Kekar terdapat pada semua jenis batuan. Pada batugamping kekar ini tampak teratur yang membentuk kelurusan. Kekar pada batuan beku umumnya menunjukkan arah tak beraturan (Rusmana, dkk, 1993).

## 2.2 Batuan Ultrabasa

Tonggiroh (2019) menyimpulkan bahwa batuan ultrabasa merupakan batuan yang kaya mineral basa (mineral ferromagnesian) dengan komposisi utama batuanannya adalah mineral olivin ( $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$ ), piroksen ( $(\text{Ca-Mg-Fe})$  silikat), hornblende ( $(\text{Ca}, \text{Na})_{2-3}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_5 \text{Si}_6 (\text{Si}, \text{Al})_2 \text{O}_{22}(\text{OH})_2$ ), mika dan biotit  $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}), (\text{Al}, \text{Si}_3\text{O}_{10}) (\text{OH})_2$  sehingga batuan ultrabasa memiliki indeks warna  $> 70$  % gelap dan sebagian besar berasal dari plutonik. Komposisi kimia penyusun batuan ultrabasa adalah  $\text{SiO}_2$  (38% sampai 45%),  $\text{MgO}$  (30% sampai 45%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{FeO}$  (7% sampai 10%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0,3% sampai 5,0%),  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , (0,2% sampai 0,2% sampai 0,3%),  $\text{CaO}$  (0,01% sampai 0,02%),  $\text{MnO}$  (0,10 % ,30 %),  $\text{NaO}$  (0,00 % sampai 1,00 %).  $\text{H}_2\text{O}$  (10% sampai 14%), total Fe ikan dalam  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{FeO}$ .



Kaharuddin M.S (1988) mengemukakan bahwa batuan beku ultra basa adalah batuan yang tersusun oleh mineral-mineral ferromagnesium, sehingga kenampakan sangat gelap atau hitam. Oleh karena kondisi pembekuan batuan beku ultrabasa pada kedalaman dan tekanan yang besar serta urutan kristalisasi dari mineral-mineral penyusunnya, mengkristal pada tingkat temperature yang relatif sama, tidak ada kebebasan suatu mineral tumbuh dengan baik sehingga itu membentuk kristal/mineral penyusun batuan beku ultrabasa yaitu berbentuk anhedral-subhedral.

Anthony Hall (1989) dalam buku Tonggiroh (2019) memaparkan bahwa batuan ultrabasa terdiri dari beberapa jenis, yang terbentuk dari kristalisasi magma ultrabasa, misalya basal, andesit, nephelin atau komatit. Batuan-batuan tersebut di kelompokkan dalam batuan “tipe Alpin”. Selain batuan tersebut, dalam tipe Alpin juga diumpai batuan ultrabasa peridotit yang terbentuk dari pembentukan pegunungan Alpin yang diinterpretasikan akibat tektonik dan intrusi magma. Batuan ultrabasa peridotit umumnya dijumpai akibat pergerakan kerak bumi (patahan bumi), deformasi batuan dan terjadinya serpentinisasi. Batuan ultrabasa peridotit merupakan segmen lempeng *oceanic crust* atau *oceanic crust* dan *mantle* atau *sub-continental mantle*.

Batuan ultrabasa dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan komposisi kimianya, termasuk peridotit, dunit, Iherzolit, harzburgit, dan serpentin. Karakteristik masing-masing jenis batuan ini ditentukan oleh proporsi relatif dari mineral olivin, ortopiroksen, dan klinopiroksen.

Christer Akerman (2003) dalam buku Tonggiroh (2019) mengemukakan bahwa pembentukan mineral (mineralisasi) pada batuan ultrabasa, didasarkan pada anomali seri pembentukan kristal (kristalisasi) dari mineral olivin-orthopiroksen-plagioklas-klinopiroksen. Klasifikasi batuan ultramafik berdasarkan kandungan mineral olivin, piroksen dan hornblende:

### 2.2.1 Dunit



alam buku Tonggiroh (2019), Williams et al. (1954) mengemukakan, dunit merupakan batuan yang hampir murni olivin (90 - 100 %). Komposisi



### 2.2.3 Piroksenit

Tonggiroh (2019) mengemukakan bahwa, Piroksenit termasuk monomineral yang seluruhnya mengandung mineral piroksen. Batuan-batuan piroksenit selanjutnya diklasifikasikan ke dalam orthorombik piroksen atau monoklin piroksen

1. Orthopiroksenit (orthorombik) : bronzitit
2. Klinopiroksenit (monoklin) : diopsidit, diallagit

### 2.2.4 Hornblendit

Tonggiroh (2019) mengemukakan bahwa, hornblendit adalah monomineral yang seluruhnya mengandung mineral hornblende.

### 2.2.5 Serpentin

Kelompok mineral serpentin memiliki senyawa  $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ , dijumpai melimpah pada batuan peridotit yang mengalami kestabilan temperatur dan tekanan (metaperidotit) (Chernosky et al.; David S. O'Hanley et al., dalam George V. Albino, 1995).

Kestabilan Unsur Al, sangat penting pada analisis temperatur tinggi dan perubahan komposisi serpentin pada batuan ultrabasa. Dalam analisis melalui XRD dan elektron mikropob digunakan untuk mengetahui mineral sekundernya, karakteristik optik dan morfologinya. (Albino, 1995). Serpentin merupakan batuan hasil alterasi hidrotermal dari batuan ultrabasa, dimana mineral-mineral olivin dan piroksin jika teralterasi akan membentuk grup mineral serpentin > 50 % (Williams et al., 1954).

Menurut Hess dalam Alfred Edward Ringwood (1975), kerak serpentin dapat dihasilkan dari mantel oleh hidrasi dari mantel ultrabasa (mantel peridotit dan dunit) di bawah punggung tengah samudera (*Mid ocean ridge*) pada suhu < 500°C, kemudian terbawa keluar melalui migrasi litosfer. Serpentinisasi pada olivin memerlukan: penambahan air, pelepasan magnesia atau penambahan silika, pelepasan besi (Mg, Fe) pada olivin, konversi pelepasan besi dari bentuk ferrous ( $Fe^{2+}$ ) ke ferri ( $Fe^{3+}$ ) ke bentuk magnetit. Mineral serpentin berwarna hijau sampai

, memperlihatkan struktur retak (*fractures*) dan bersama mineral silika mengisi batuan. Mengandung magnesium lebih dari 35 % dan besi lebih



kecil 10 %, sering disebut serpentininit potholit atau *saprolite rock*, menurut Waheed (2008) dalam buku Tonggiroh, (2019).

## 2.3 Serpentinisasi

### 2.3.1 Karakteristik Serpentinisasi pada Batuan Ultramafik

Serpentinisasi merupakan proses yang dapat mengubah mineral primer pada batuan ultramafik menjadi mineral sekunder seperti serpentin. Apabila batuan mengandung mineral serpentin dalam jumlah yang melimpah, batuan tersebut disebut sebagai serpentininit. Saat lantai kerak samudera tersingkap, batuan akan mengalami interaksi dengan fluida hidrotermal pada batas lempeng divergen, mengalami berbagai macam proses yang dapat mengubah komposisinya termasuk interaksi dengan intrusi batuan mafik seperti gabro (Escartin dan Canat, 1999). Dimitriev dan Sharaskin (1975) dalam Hekinian (1982) mengklasifikasikan stadia serpentinisasi menjadi dua fase, meliputi proses serpentinisasi seragam dari mineral asal (pseudomorfisme) tanpa bekas ubahan tekstur batuan asal, serta pembentukan *vein*, *veinlet* dan fase mineral lain dari rekristalisasi serpentin.

Li dan Lee (2006) mengemukakan bahwa mekanisme serpentinisasi pada batuan ultramafik di kerak samudera dapat terbagi menjadi empat, yaitu infiltrasi air laut dalam kerak samudera, pelapukan batuan yang telah terangkat ke permukaan pada zona infiltrasi air laut pada zona subduksi, zona *detachment fault*, serta zona dehidrasi pada zona subduksi sehingga fluida lepas dari baji mantel.

Menurut Gill (2010), tekstur *seriate* dan *hourglass* pada mineral primer menandakan kuat bahwa proses serpentinisasi berjalan lambat. Menurut Maffione (2014), proses serpentinisasi pada batuan ultramafik melewati tahapan perubahan pada suhu yang rendah dan penambahan ikatan H<sub>2</sub>O (hidrasi) oleh fluida pada rentang suhu 200-400°C, dan dapat berubah apabila berada dalam kondisi statis dan reduksi. Apabila melebihi kondisi suhu tersebut, mineral olivin atau piroksen akan terubahkan yang terjadi pada kondisi *reduction* atau alterasi *retrograde* (Winter, 2001). Mineral yang paling rentan terkena proses serpentinisasi adalah orthopiroksen dan olivin, sedangkan menurut Moeskops (1977), klinopiroksen

g resisten terhadap perubahan. Sisa-sisa tekstur olivin derajat relik akan sebagai tekstur *mesh structure* dan orthopiroksen dengan lamela pada istit (Groppo dkk. 2006).



### 2.3.2 Proses Serpentinisasi pada Batuan Ultramafik

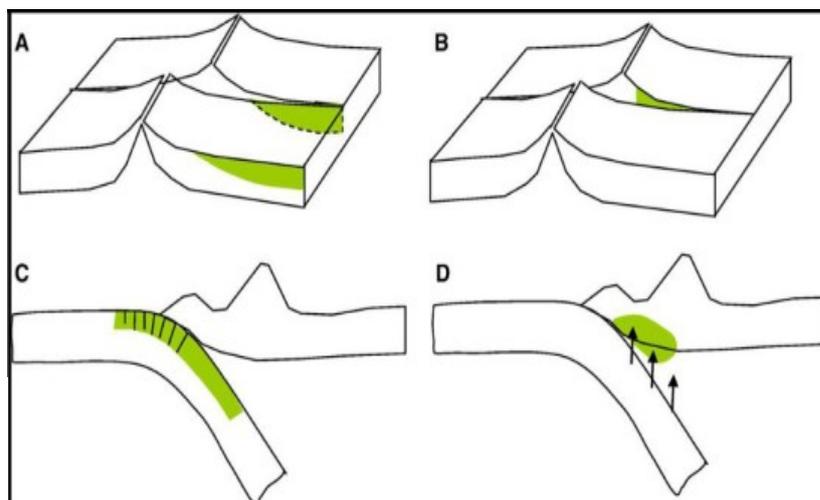
Serpentinisasi batuan ultramafik menurut Maffione dkk (2014) terjadi pada suhu rendah yang berasal dari proses hidrasi fluida pada suhu 200-400°C. Secara simpel bentuk dari reaksi serpentinisasi dapat dijelaskan sebagai berikut:

$\text{Olivin} \pm \text{Piroksen} + \text{Air} = \text{Serpentin} + \text{Brusit} \pm \text{Magnetit} \pm \text{Talk} \pm \text{Tremolit} + \text{Hidrogen}$

Mekanisme serpentinisasi peridotit dari kerak samudera menurut Li dan Lee (2006) dapat dibagi menjadi empat, yaitu (Gambar 4) :

1. Infiltrasi air laut dalam kerak samudera melalui rekahan samudera
2. Pelapukan peridotit laut yang telah terangkat ke permukaan pada zona rekahan atau *detachment fault* sudut rendah.
3. Infiltrasi air laut ke dalam sesar ekstensi yang terbentuk akibat pembengkokkan slab subduksi
4. Dehidrasi pada zona subduksi yang diikuti oleh lepasnya fluida dari material baji mantel

Skenario serpentinisasi A, C, dan D merupakan proses in situ karena prosesnya sebagian besar terjadi di dalam kerak samudera atau baji mantel, sedangkan skenario B merupakan proses serpentinisasi eks situ karena prosesnya dipengaruhi oleh proses pelapukan. Waheed (2006) mengemukakan bahwa proses serpentinisasi tidak selalu terbentuk di dalam dasar laut dengan suhu pembentukan yang mencapai lebih dari 200°C, akan tetapi proses serpentinisasi juga dapat hadir secara sekunder dari pelapukan kimia pada laterit batuan ultramafik di permukaan.



ambar 4 Ilustrasi skenario serpentinisasi pada kerak samudera (Li dan Lee, 2006)



Pada tahap awal serpentinisasi dengan suhu sekitar 200-300°C, serpentin akan mulai menggantikan olivin. Kemudian pada tahap selanjutnya serpentin akan mulai menggantikan ortopiroksen pada suhu sekitar 300-400°C. Proses serpentinisasi pada tingkat ini juga diikuti oleh peningkatan unsur Pb, Cs dan Li. Hal ini berdasarkan atas studi batuan metabasaltik dan metasedimen tekanan tinggi, yang memberikan hasil bahwa mobilitas dari unsur litofil (Pb, Cs dan Li) meningkat pada kedalaman 90 km yang sesuai dengan suhu 400°C (Deschamps dkk, 2010).

Proses serpentinisasi menurut Maffione dkk (2014) berkembang melalui beberapa reaksi bergantung pada lingkungan alterasi fluida-batuan-nya. Pada sistem yang didominasi oleh batuan, di mana masuknya air cukup terbatas dan aktivitas besi, magnesium dan silika dikontrol oleh komposisi batuan asalnya. Pada sistem ini urat yang terbentuk berukuran kecil (50-100 µm) yang biasanya terisi oleh serpentin kaya besi dan brusit. Di sisi lain sistem yang berkembang pada lingkungan yang didominasi oleh fluida akan memiliki kondisi yang lebih oksidasi, dan pada lingkungan ini akan terbentuk urat yang lebih tebal yang terisi oleh serpentin, brusit, dan magnetit. Magnetit yang ada pada urat terbentuk merupakan hasil ekstraksi besi dari brusit dan serpentin.

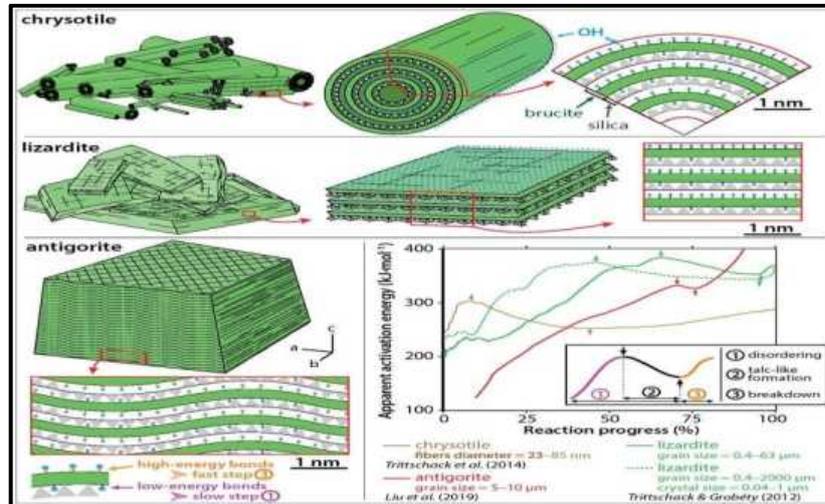
Menurut Maffione (2014), serpentinisasi pada batuan ultramafik umumnya berasosiasi dengan pembentukan magnetit, sehingga batuan yang telah mengalami proses serpentinisasi biasanya memiliki tingkat kemagnetan yang lebih kuat dibandingkan batuan yang tidak mengalami proses serpentinisasi (Waheed, 2006). Menurut Maffione dkk (2014) bahwa sifat kemagnetan pada peridotit sendiri erat kaitannya dengan derajat serpentinisasi.

### 2.3.3 Mineralogi Serpentin

Serpentin menurut Waheed (2006) dibentuk oleh alterasi hidrotermal dari mineral-mineral feromagnesian seperti olivin, piroksen dan amfibol. Serpentin magnesian murni mengandung sekitar 13% air pada sistem kristalnya yang akan keluar pada suhu > 800°C. Serpentin sangat umum dijumpai sebagai produk dari mineral aslinya, terbentuk sebagai pseudomorph. Selain itu serpentin akan mengisi rekahan pada batuan. Whittaker (1954) menyatakan bahwa kristal dari krisotil adalah berdasarkan kisinya yang silindris dan



karakteristik tabularnya yang diamati dalam mikroskop elektron. Berdasarkan polimorfismenya, serpentin terbagi menjadi tiga jenis, meliputi antigorit, lizardit, dan krisotil(klinikrisotil, parakrisotil, dan orthokrisotil). Pada Gambar 5, Ferrand (2019) mengilustrasikan bentuk-bentuk polimorf serpentin.



Gambar 5 Dehidroksilasi pada mineral-mineral serpentin yang memiliki perbedaan struktur yang mengontrol batas stabilitas dan laju dehidrasi (Ferrand, 2019).

Tiga bentuk serpentin yang umum dijumpai pada batuan yaitu sebagai berikut:

#### 1. Lizardit

Lizardit merupakan bentuk serpentin yang paling umum dijumpai dan biasanya berbentuk masif. Akan tetapi jika dilihat menggunakan mikroskop, lizardit berbentuk seperti serabut-serabut halus. Struktur mineralnya tersusun atas susunan layer planar. Lizardit umumnya berwarna hijau terang sampai hijau medium tetapi dapat sangat bervariasi karena kehadiran mineral lain.

#### 2. Antigorit

Antigorit merupakan serpentin yang berbentuk seperti mika, bersisik, berlapis atau foliasi. Struktur mineralnya tersusun atas susunan layer undulating. Lapisannya umumnya saling menyatu tetapi mungkin juga terpisah pada beberapa foliasi yang sangat tipis. Antigorit umumnya berwarna hijau terang sampai hijau medium tetapi dapat sangat bervariasi (kehadiran magnetit mungkin akan memberikan warna abu-abu, cokelat atau hitam, begitu juga kehadiran hematit akan memberikan warna cokelat dan merah).



krisotil berbentuk serabut yang sangat halus dengan serabut yang biasanya dan mudah dipisahkan. Struktur mineralnya tersusun atas susunan layer

yang menggulung. Krisotil umumnya terbentuk pada urat. Krisotil umumnya berwarna hijau kekuningan, putih atau abu-abu. Nama lain dari krisotil yang sangat populer di seluruh dunia yaitu asbestos. Menurut perhitungan Powell (1998, dalam Palandri dan Reed, 2004), antigorit lebih stabil dibandingkan krisotil pada suhu 25-350°C. Krisotil sendiri terbentuk secara alami pada suhu di bawah 350°C.

#### 2.4 Mobilitas Geokimia Unsur pada Batuan Ultramafik

Mobilitas adalah kemampuan suatu unsur untuk terdispersi ke dalam matrik material lain di sekitarnya. Mobilitas mempengaruhi respon unsur terhadap proses disperse. Faktor utama yang mempengaruhi mobilitas geokimia adalah stabilitas kimiawi unsur. Mobilitas dari suatu elemen atau unsur yang dijumpai pada batuan mafik dan ultrabasa dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Elemen yang bersifat sangat larut dan sangat mobile, mudah hilang dalam profil pelapukan dan sangat larut dalam aliran air tanah (sedikit asam), misal : Mg, Si, Ca, Na.
- b. Elemen yang bersifat tidak larut dan tidak mobile, tidak dapat larut dalam air tanah, sebagian besar unsur-unsurnya merupakan penyusun dari residu tanah (residual soil), misal :  $\text{Fe}^{3+}$  (*Ferric*), Co, Al, Cr.
- c. Elemen dengan adanya daya larut yang terbatas dan mobilitas terbatas, sebagian elemen yang larut dalam air tanah yang bersifat asam, misal :  $\text{Fe}^{2+}$  (*ferrous*), Ni.

Perbedaan ini disebabkan kondisi kimia lingkungan sekitar dapat mempengaruhi mobilitas relatif suatu unsur. Sementara dalam proses dekomposisi berkaitan erat dengan mobilitas ion penyusunnya yang dipengaruhi oleh faktor-faktor yaitu pH (derajat keasaman) dan Eh (potensial redoks), dimana Eh cenderung akan semakin turun jika pH semakin naik, sehingga oksidasi akan meningkat keasaman.

Kelarutan partikel-partikel sangat dipengaruhi oleh pH. Contoh Ni pada kondisi oksidasi dengan pH 5 – pH 8 memiliki mobiltas kecil, Ni pada kondisi ini memiliki nilai Eh yang kecil, sehingga mobilitasnya berkurang sebagai akibat aksi antara larutan pembawa Ni yang masih bersifat asam (yang berasal dekat permukaan) dengan tanah dan batuan yang bersifat basa. Sedangkan di pH < 4 (pH asam), Ni akan memiliki mobilitas menengah, Ni pada



kondisi ini memiliki Eh yang besar sehingga larut pada kondisi asam. Ion *ferric* ( $\text{Fe}^{3+}$ ) berada di bawah kondisi oksidasi. Ion *Ferric* tidak dapat larut sampai pH tereduksi menjadi 2,5 (Waheed, 2008).

Secara umum kondisi lingkungan sekitar dapat dibagi menjadi lingkungan oksidasi dengan pH 5-8, lingkungan oksidasi dengan pH < 4 dan lingkungan reduksi. Perbedaan kondisi lingkungan inilah yang nantinya akan menyebabkan perbedaan ketersediaan ion Fe pada reaksi tersebut (Tonggiroh, 2019).

## 2.5 Endapan Laterit

Laterit deposit atau endapan 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/hydroxide. Endapan laterit pada umumnya menampakkan bidang perlapisan yang baik sebagai hasil reaksi antara air hujan yang masuk ke dalam formasi dan kelembaban tanah yang naik ke atas permukaan (Maulana, 2017)

Laterit adalah produk residu dari pelapukan kimia batuan di permukaan bumi, di mana berbagai mineral asli atau primer yang tidak stabil dalam kehadiran air, larut atau pecah dan mineral baru terbentuk yang lebih stabil terhadap lingkungan. Laterit penting sebagai tuan rumah deposit bijih ekonomis, karena interaksi kimia yang bersama-sama membentuk proses lateritisasi dapat dalam beberapa kasus sangat efisien dalam mengkonsentrasikan beberapa unsur. Contoh-contoh terkenal dari deposit bijih laterit yang penting adalah bauksit alumina dan deposit bijih besi yang diperkaya, tetapi contoh-contoh yang kurang dikenal termasuk deposit emas laterit (misalnya, Boddington di Australia Barat) (Evans, 1993) dalam (Elias, 2002).

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 saprolite yang merupakan zona pelapukan tinggi dimana tekstur primer dan *fabric* dari batuan asalnya masih dapat dilihat. Akibat fluida yang bersifat *oxidized* dan jika bagian paling bawah dari zona ini dicirikan dengan tidak stabilnya an karbonat dengan hasil pencucian atau leaching dari logam-logam e 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: (Waheed, 2009)

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

Tabel 1 Peran beberapa elemen selama pelapukan laterit (Waheed, 2009)

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

1. Ca. Kalsium hadir dalam batuan ultrabasa pada dasarnya di klinopiroksin dalam jumlah yang tinggi dibandingkan olivin dan ortopiroksin. Kalsium memiliki sifat yang sangat larut dalam air tanah di daerah tropis dan mudah asuk ke dalam larutan dan dengan cepat dihilangkan dari lingkungan terisasi.



2. Mg. Magnesium sangat larut dalam air tanah. Dalam kondisi tropis basah, magnesia dapat dengan cepat keluar dari profil laterit. Namun, di bawah kondisi iklim basah-kering, beberapa magnesia dalam bentuk lempung dalam profil laterit mungkin terhambat.
3. Si. Silika memiliki kelarutannya lebih rendah dari magnesia, silika sering kali dapat diendapkan dalam zona saprolitik dari profil laterit di mana magnesia secara aktif masuk ke dalam larutan.
4. Fe. Kelarutan zat besi sangat bervariasi tergantung pada keadaan valensinya, dimana zat besi ( $\text{Fe}^{++}$ ) cukup larut dalam air tanah sedangkan zat besi ( $\text{Fe}^{+++}$ ) sangat tidak larut.
5. Al. Alumina 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)
6. Cr. Kromium dalam kromit tidak larut dalam air tanah dan sangat stabil, bertahan sebagai kromit di zona limonit laterit.
7. Mn dan Co memiliki mobilitas agak rendah di perairan asam dan cenderung bergerak ke bawah profil laterit. Namun, mereka mencapai tingkat ketidaksuburan mereka 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.

## 2.6 Nikel Laterit

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 *garnierite* pada lapisan *saprolite* (Golightly, 1981).

Selain nikel, kobalt juga akan terkonsentrasi pada lapisan ini pada jumlah

Adapun grade dari nikel yang dihasilkan berkisar 1,5–3% Ni. Mineral olivin dan piroksin merupakan mineral penyusun utama dari peridotit dan merupakan batuan sumber dari Ni. Jenis batuan ini merupakan bagian



dari kelompok batuan penyusun kerak samudra yang dikenal dengan istilah batuan *ophiolite series* (seperti pada New Caledonia dan East Sulawesi Ophiolite di Soroako) atau sebagai *layered mafic intrusion* seperti pada Niquelandia, Brasil. 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 (Maulana, 2017).

### 2.6.1 Genesa Endapan Nikel Laterit

Proses pelapukan dimulai pada batuan ultramafik (peridotit, dunit, serpentin) 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 *saprolite* 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 tanah terus berlangsung. Rangkaian proses ini merupakan proses pelapukan dihan/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 *hidrosilikate*) yang disebut mineral garnierit  $[(Ni,Mg)_6 Si_4 O_{10}(OH)_8]$  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, dan H akan membentuk mineral garnierit.

Apabila proses ini berlangsung terus-menerus maka yang akan terjadi adalah proses pengayaan supergen/supergen enrichment. Zona pengayaan supergen ini terbentuk di zona *saprolite* (*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 (*bed rock*) (Maulana,2017).

### 2.6.2 Profil Laterit

Pelapukan kimia pada batuan ultrabasa biasanya disertai dengan fraksinasi dari elemen-elemen menjadi tipe yang larut dan tidak larut dalam air. Elemen-elemen yang larut dalam air nantinya akan tercuci keluar dari sistem pelapukan sementara elemen-elemen yang tidak larut dalam air akan tertinggal sebagai pengayaan residu. Proses pelapukan kimia pada akhirnya akan menghasilkan pembentukan profil laterit dengan urutan laterit termuda pada bagian bawah dan laterit tertua pada bagian atas. Profil laterit dibagi menjadi 4 zonasi yaitu Iron cap, limonit, saprolit dan bedrock, namun penulis telah menggabungkan beberapa teori dari beberapa penelitian sehingga profil laterit terbagi atas 5 zona yaitu :



on cap

aitu lapisan berukuran lempung, berwarna coklat kemerahan, dan biasanya juga sisa-sisa tumbuhan. Lapisan dengan konsentrasi besi yang cukup

tinggi (*ferruginous duricrust*) dan kandungan nikel yang rendah atau merupakan laterit residu yang dapat terbentuk pada bagian atas dari profil dan melindungi lapisan endapan nikel laterit dibawahnya (Golightly, 1979).

## 2. Zona Limonit

Zona ini berada paling atas pada profil dan masih dipengaruhi aktivitas permukaan dengan kuat. Zona ini tersusun oleh humus dan limonit. Mineral-mineral penyusunnya adalah goethit, hematit, tremolit dan mineral-mineral lain yang terbentuk pada kondisi asam dekat permukaan dengan relief relatif datar. Secara umum material-material penyusun zona ini berukuran halus (lempung-lanau), sering dijumpai mineral stabil seperti spinel, magnetit dan kromit (Golightly, 1979).

## 3. Zona Medium Grade Limonite (MGL)

Sifat fisik zona Medium Grade Limonite (MGL) tidak jauh berbeda dengan zona overburden. Tekstur sisa bedrock mulai dapat dikenali dengan hadirnya fragmen bedrock, 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 limonit dan zona saprolit, yang membedakan adalah hadirnya kuarsa, lihopirit, dan opal (Golightly, 1979).

## 4. Zona Saprolit

Zona saprolit merupakan zona bijih, tersusun atas fragmen-fragmen bedrock yang teralterasi, sehingga mineral penyusun, tekstur dan struktur batuan dapat dikenali. Zona saprolit merupakan lapisan setelah zona limonit pada profil laterit, dimana pada lapisan ini terjadi proses pengayaan unsur Ni yang lebih besar dibandingkan zona lapisan lainnya. Hal ini terjadi karena pada saat proses lateritisasi yang terjadi dimana air yang berfungsi sebagai penyuplai mineral-mineral pembawa unsur Ni akan mengalir masuk melalui kekar atau celah batuan dan akan membawa nikel turun ke bawah dan lambat laun akan terkumpul di zona

al yang tidak dapat menembus bedrock, apabila proses ini berlangsung  
a pada zona saprolit ini akan terjadi pengayaan supergen. Lapisan saprolit

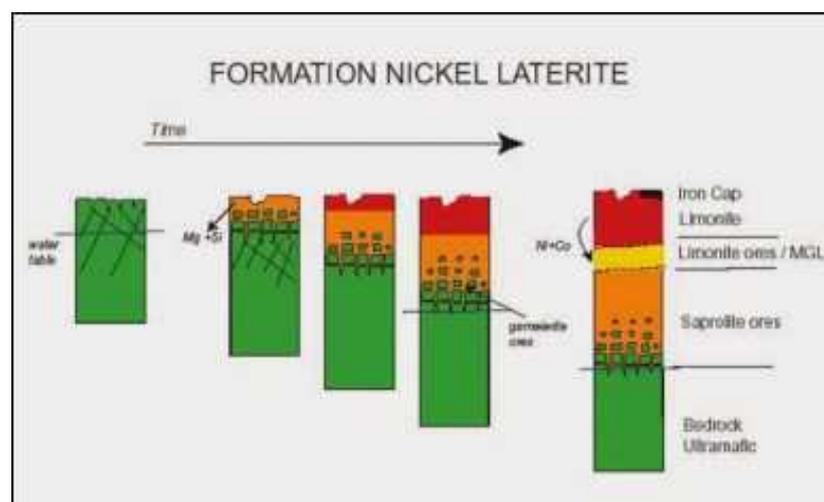


juga dicirikan oleh adanya tekstur sisa dari bedrock berupa boulder yang kayak akan kadar nikel (Waheed, 2002).

Menurut (Waheed, 2002) zona saprolit terbagi atas 2 lapisan berdasarkan tingkat pelapukannya yang disebut soft saprolith yang tinggi akan tingkat pelapukan hingga menghasilkan ciri-ciri yang hampir menyerupai limonit dan rocky saprolith yang tingkat pelapukannya lebih rendah dibandingkan yang terjadi pada lapisan soft saprolith. Berdasarkan kandungan fragmen batuan, zona saprolit dibagi menjadi dua yaitu *soft saprolith*, mengandung fragmen-fragmen berukuran boulder kurang dari 25%, *rocky saprolith*, mengandung fragmen-fragmen berukuran boulder lebih dari 50%.

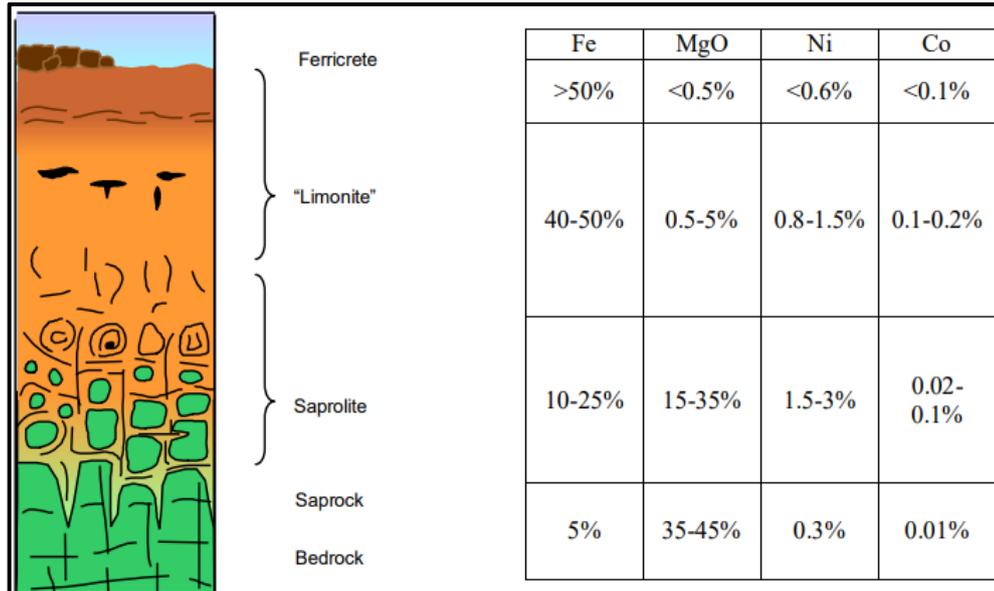
### 5. *Bedrock*

*Bedrock* berada pada bagian paling bawah dari profil laterit. *Bedrock* ini merupakan batuan yang masih segar dengan pengaruh proses- proses pelapukan sangat kecil. Tersusun atas bongkah lebih besar dari 75 cm dan blok batuan dasar dan secara umum sudah tidak mengandung mineral ekonomis lagi. Zona ini terfrakturisasi kuat, kadang - kadang membuka, terisi oleh mineral garnierit dan silika. Frakturisasi ini diperkirakan menjadi penyebab muncul atau adanya *root zone of weathering* (zona akar-akar pelapukan), yaitu high grade Ni, akan tetapi posisinya tersembunyi. *Bedrock* umumnya berupa peridotit, dunit, serpentinit (Waheed, 2002). Proses pelapukan batuan asal menjadi laterit nikel dapat dilihat pada (Gambar 6) dan profil laterit dapat dilihat pada (Gambar 7).



Gambar 6 Proses pelapukan batuan asal menjadi laterit nikel (Waheed, 2002).





Gambar 7 Skema profil laterit yang berkembang di atas batu ultramafik dalam iklim tropis (zona limonit yang didominasi oksida Fe), menunjukkan komposisi kimia indikatif wt% (Elias, 2002)

Elias (2002) membedakan tipe profil lateri menjadi tiga jenis tiga kategori utama berdasarkan mineralogi dominan yang berkembang dalam profil tersebut (Gambar 8), yaitu,:

### 1. *Oxide laterites* :

Laterit oksida merupakan produk akhir yang paling umum dari lateritisasi batuan ultramafik. Dalam keberadaan air, mineral pembentuk batuan primer (terutama olivin dan/atau serpentin, ortopiroksen, dan kurang umum klinopiroksen) mengalami dekomposisi melalui hidrolisis, melepaskan unsur-unsurnya dalam bentuk ion dalam larutan akuatik. Olivin adalah mineral yang paling tidak stabil dan merupakan yang pertama mengalami pelapukan; di lingkungan tropis yang lembap,  $Mg^{2+}$  dari olivin sepenuhnya terlarut dan hilang ke dalam air tanah, sementara Si sebagian besar terlarut dan dihilangkan.  $Fe^{2+}$  juga dilepaskan, tetapi teroksidasi dan mengendap sebagai hidroksida ferrik, yang awalnya bersifat amorf atau kurang kristalin, namun secara bertahap mengalami rekristalisasi menjadi goetit yang membentuk pseudomorf setelah olivin. Ortopiroksen dan serpentin

ni hidrolisis setelah olivin, juga melepaskan Mg dan Si, serta digantikan domorf goetit.



Awalnya, sementara mineral ferro-magnesium yang berkoeksistensi tetap tidak terlapukkan dan mendukung struktur batuan, transformasi tersebut isovolumetrik dan tekstur batuan primer dipertahankan, tetapi seiring dengan meningkatnya destruksi mineral primer, tekstur primer yang tersisa hilang karena keruntuhan dan kompaksi struktur batuan, menghasilkan tekstur goethit yang massif dan tidak berstruktur. Transformasi mineralogi yang melibatkan kehilangan Mg dan konsentrasi residual Fe menghasilkan tren kimia yang jelas dan familiar dalam laterit, yaitu Mg menurun ke atas dan Fe meningkat ke atas melalui profil laterit.

## 2. *Clay laterites*

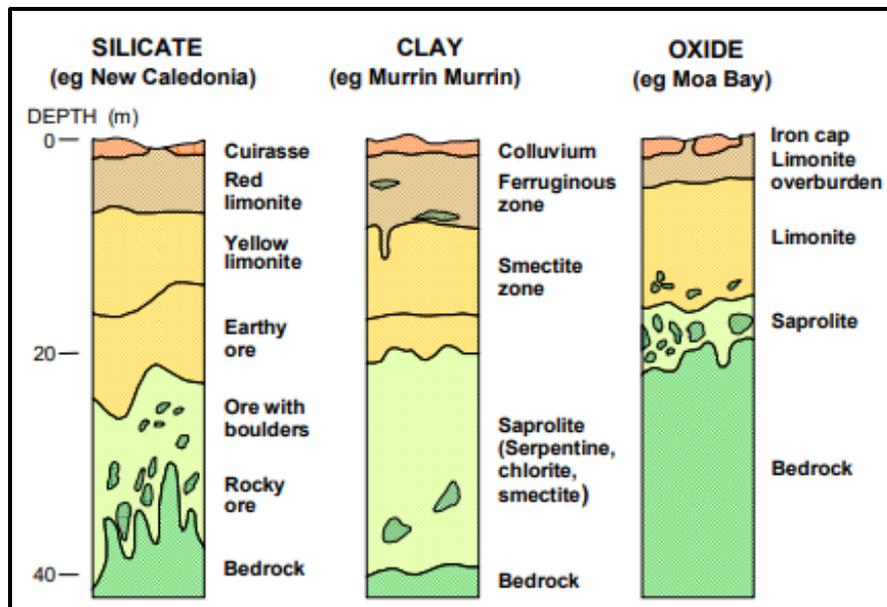
Laterit lempung tersebut dalam kondisi pelapukan yang kurang keras, misalnya iklim yang lebih sejuk atau kering, silika tidak larut seperti pada lingkungan tropis yang lembap. Dalam kondisi ini, silika tidak terlarut seperti yang terjadi di lingkungan tropis yang lembap, melainkan bergabung dengan Fe dan Al untuk membentuk zona dimana lempung smektit (nontronit) mendominasi, menggantikan oksida Fe. Nontronit berperan mirip dengan goetit dalam mengikat ion Ni di dalam jaringannya, di mana ion tersebut menggantikan  $Fe^{2+}$  dan terikat di posisi antar-lapisan (Brand et al., 1998). Lempung nontronit biasanya mengandung 1,0-1,5% Ni dalam laterit yang termineralisasi. Silika sisa dari pembentukan nontronit kemudian terendapkan sebagai nodul opal atau kalsedon dalam lempung. Profil laterit lempung juga berkembang di mana terdapat gerakan air tanah yang terbatas, seperti di daerah yang luas dengan relief topografi yang rendah (Golightly, 1981). Horizon lempung mungkin ditutupi oleh zona tipis bahan oksida yang lebih kaya Fe, yang umumnya rendah Ni, dan di bawahnya terdapat saprolit yang terlapukkan sebagian yang mengandung serpentin dan nontronit.

*Clay laterites* yang didominasi oleh nontronit dan montmorilonit tampak lebih mudah terbentuk dari batuan ultramafik yang mengandung mineral mikroskopis, seperti ortokumosis komatiitik, dibandingkan dengan ortopyroxene. Hal ini disebabkan oleh konsentrasi awal yang lebih tinggi dari Ca (Kalsium), Na), dan Al (Aluminium).



### 3. *Silicate laterites*

Laterit silikat terbentuk dalam kondisi dimana terjadinya pengangkatan tektonik yang lambat dan terus-menerus, serta tingkat air tanah rendah dan stabil dalam profil. Pelapukan yang berlangsung dalam jangka waktu yang lama dapat menghasilkan perkembangan zona saprolit yang tebal, yang mungkin ditutupi oleh zona limonit yang tipis tergantung pada intensitas erosi di bagian atas profil (Golightly, 1981). Laterit silikat memiliki karakteristik dengan adanya pengayaan atau konsentrasi Ni yang absolut dalam zona saprolit yang terdiri dari mineral primer yang teralterasi, seperti serpentin sekunder, goetit yang baru terbentuk, lempung smektit, dan garnierit.



Gambar 8 Perbandingan skematis dari tipe profil laterit utama

#### 2.6.3 Faktor Pembentukan Nikel Laterit

Menurut Waheed (2006) dalam Padjadjaran Geoscience Journal Vol. 1 No.2 (2017), faktor – faktor yang mempengaruhi endapan laterit adalah sebagai:

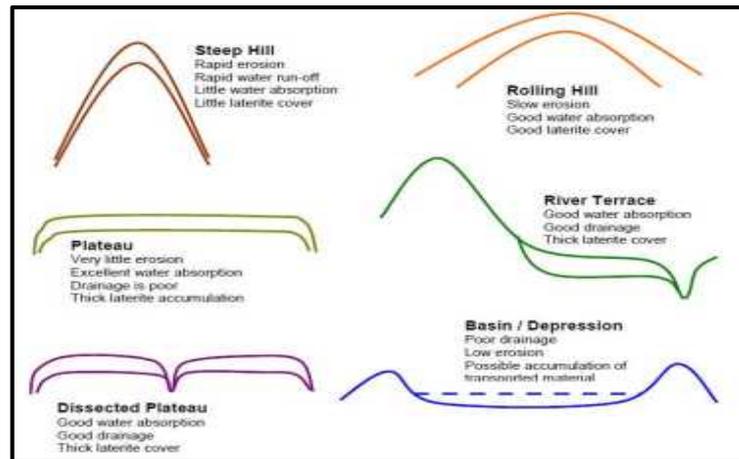
1. Batuan asal, batuan asal untuk terbentuknya endapan nikel laterit adalah batuan ultra basa. Terdapat elemen Ni pada olivin dan piroksen.
2. Struktur, pada endapan laterit keterdapat struktur seperti joint pada batuan dasar dapat mempercepat resapan air sehingga pelapukan secara kimiawi dapat berlangsung pada elevasi yang lebih rendah.



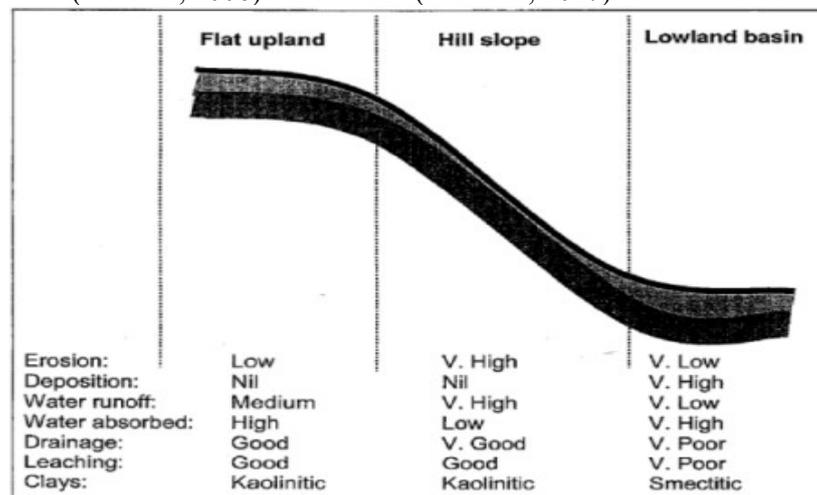
3. Iklim, pergantian musim kemarau dan musim penghujan dimana terjadi kenaikan dan penurunan permukaan air tanah juga dapat menyebabkan terjadinya proses pemisahan dan akumulasi unsur-unsur.
4. Proses pelarutan kimia dan vegetasi, adalah unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang membantu mempercepat proses 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. Menurut Waheed Ahmad (2006), perkembangan nikel laterit yang memiliki kualitas yang baik berada pada sistem terasering, dataran tinggi, dan lereng bukit yang relatif landai serta kemiringan lereng yang umumnya dijumpai idealnya berada pada kemiringan 20%, namun pada beberapa kasus dapat dijumpai hingga 30 persen.

Menurut Maulana Adi (2017), Pada proses pengayaan nikel, air yang membawa nikel terlarut akan sangat berperan dan pergerakan ini dikontrol oleh topografi. Secara kualitatif (**Gambar 9**), pada lereng dengan derajat tinggi (curam) maka proses pengayaan akan sangat kecil atau tidak ada sama sekali karena air pembawa Ni akan mengalir. Bila proses pengayaan kecil maka pembentukan bijih (ore) juga akan kecil (tipis), sedangkan pada daerah dengan lereng sedang atau landai proses pengayaan umumnya berjalan dengan baik karena run off kecil sehingga ada waktu untuk proses pengayaan, dan umumnya ore yang terbentuk akan tebal. Akibat lereng yang sangat curam maka erosi yang terjadi sangat kuat hingga mengakibatkan zona limonit dan saprolit tererosi (**Gambar 10**). Hal ini dapat terjadi selama proses lateritisasi atau setelah terbentuknya zona di atas batuan dasar (*bed rock*).





Gambar 9 Klasifikasi sederhana antara bentuk lahan dan proses laterisasi (Waheed, 2006) dalam buku (Maulana, 2017)



Gambar 10 Hubungan topografi terhadap proses lateritisasi. (Achmad, 2001) dalam buku (Maulana, 2017)

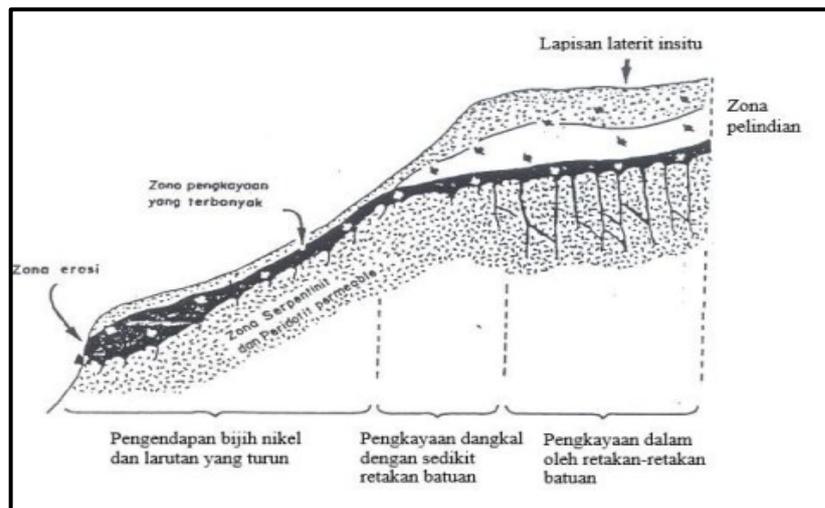
6. Waktu yang cukup lama akan mengakibatkan pelapukan yang cukup intensif karena akumulasi unsur nikel cukup tinggi. Waktu lateritisasi tiap ketebalan 1 mm membutuhkan waktu sekitar 100 tahun

#### 2.6.4 Penyebaran Horizontal Endapan Ni-Laterit

Maulana (2017) menegemukakan bahwa penyebaran horizontal Ni bergantung 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. Sebagian besar dari air tanah membawa Ni, Mg, dan Si yang mengalir ke zona pelindian atau zona tempat air tanah berlangsung. Pada dasarnya proses pelindian ini dapat okkan menjadi proses pelindian utama yang berlangsung secara horizontal pelindian dan proses pelindian yang berlangsung secara vertikal yang



meliputi proses pelindian pada rekahan-rekahan di zona saprolit serta proses pelindian yang terjadi di waktu musim penghujan di zona limonit (**Gambar 11**).



Gambar 11 Penampang tegak dan horizontal endapan nikel laterit serta proses yang terjadi. (Golightly, 1981) dalam buku (Maulana, 2017)

Ada faktor-faktor yang memengaruhi tingkat sebaran secara horizontal endapan lateritik (Golightly, 1981) dalam buku (Maulana, 2017)

- 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.
- Adanya proses pelapukan yang relatif merata walaupun berbeda tingkat intensitasnya sehingga endapan lateritik terbentuk dan tersebar secara merata.
- Adanya tumbuhan penutup yang berfungsi untuk mengurangi tingkat intensitas erosi endapan laterit sehingga endapan laterit tersebut relatif tidak terganggu.

### 2.6.5 Pengayaan *Supergene*

*Secondary Enrichment*, merupakan peningkatan kadar logam atau mineral berharga suatu urat atau tubuh bijih dari sumber yang terjadi belakangan, sering berasal dari oksidasi massa bijih atau proses pelapukan lain yang berada di atasnya.



Ini disebut pengayaan sekunder merupakan pencucian bahan terjadi dan ini akan dikedalaman menghasilkan konsentrasi yang lebih tinggi yang berasal dari pelapukan kimia, proses pengayaan supergene terjadi ketika asam

pengoksidasi melarutkan ion logam dari “protore” dan disimpan bagian bawah yang lebih kecil, yaitu dibawah permukaan air. Ini menghasilkan zona teroksidasi diatas (Mcgeary dkk, 2001).

Pengetahuan tentang karakteristik nikel laterit sangat penting untuk eksplorasi nikel sulfida yang efektif di medan yang sangat lapuk. Konsentrasi nikel yang lebih tinggi dapat dikembangkan di regolith di atas akumulasi tandus daripada di atas batuan serupa yang mengandung mineralisasi disebarluaskan atau matriks. Pengayaan sekunder umumnya difokuskan di sepanjang rekahan dan geser, dan data geokimia saja dapat mensimulasikan distribusi yang terkait dengan mineralisasi sulfida yang lapuk dan batuan dinding yang terkait. Diskriminasi dapat dibuat dengan menggunakan kelimpahan dan rasio elemen pathfinder, seperti elemen grup tembaga dan platinum, tetapi solusinya tidak unik dan kriteria diagnostik yang sepenuhnya dapat diandalkan belum ditemukan (Brand dkk, 1998).

Jika suatu deposit tersingkap pada zona oksidasi deposit tersebut akan mengalami pelapukan dan teralterasi pada bagian permukaan batuannya. Air permukaan mengoksidasi beberapa mineral bijih dan melarutkan mineral lainnya. Deposit bijih yang teroksidasi kemudian mengalami pencucian, sehingga mineral-mineral berharga yang dikandungnya meresap turun hingga ke muka air tanah atau pada suatu kedalaman dimana oksidasi sudah tidak bekerja. Daerah dimana proses oksidasi pengaruh oksidasi terkadang bisa mencapai tempat yang cukup jauh dari zona oksidasi (Mcgeary dkk, 2001).

Jika penetrasi larutan hasil pencucian pada zona oksidasi mencapai muka air tanah, kandungan logamnya mengalami presipitas dan membentuk sulfida sekunder pada bagian bawah atau pada daerah yang tidak mengalami pengayaan disebut zona hipogen atau primer (Mcgeary dkk, 2001). Pembentukan zona pengayaan yaitu :

1. Lingkungan pembentukan yang sama dengan residual.
2. Bijih yang terexpose di permukaan mengalami erosi maka bijih tersebut akan mengalami proses pelapukan, air permukaan akan mengoksidasi mineral mineral dan menghasilkan larutan, dan akan melarutkan mineral mineralnya.

utan hasil oksidasi yang turun kebagian bawah ini akan membentuk suatu a yang disebut zona pengayaan.

