

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH ALUMINA, MAGNESIUM, DAN SILIKA
TERHADAP Ni PADA ZONA LIMONIT DAN ZONA SAPROLIT
PT. PACIFIC ORE RESOURCES KECAMATAN KABAENA UTARA
KABUPATEN BOMBANA PROVINSI SULAWESI TENGGARA**

Disusun dan diajukan oleh

A. NURHIDAYAH

D061181008



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH ALUMINA, MAGNESIUM, DAN SILIKA
TERHADAP Ni PADA ZONA LIMONIT DAN ZONA SAPROLIT
PT. PACIFIC ORE RESOURCES KECAMATAN KABAENA UTARA
KABUPATEN BOMBANA PROVINSI SULAWESI TENGGARA**

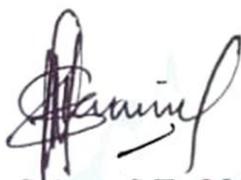
Disusun dan diajukan oleh

**A. NURHIDAYAH
D061181008**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 10 Agustus 2023
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr. Sultan, S.T., M.T.
NIP. 19700705 199702 1 002

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. M. Fauzi Arifin, M.Si.
NIP. 19581203 198601 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : A. NURHIDAYAH
NIM : D061181008
Program Studi : TEKNIK GEOLOGI
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{ANALISIS PENGARUH ALUMINA, MAGNESIUM, DAN SILIKA TERHADAP Ni
PADA ZONA LIMONIT DAN ZONA SAPROLIT PT. PACIFIC ORE RESOURCES
KECAMATAN KABAENA UTARA, KABUPATEN BOMBANA,
PROVINSI SULAWESI TENGGARA}

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

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

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

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

Gowa, 10 Agustus 2023

kan
METERAI
TEMPEL
C8BAJX654385407
A. Nurhidayah

ABSTRAK

Daerah penelitian termasuk dalam wilayah PT. Pacific Ore Resource, Kecamatan Kabaena Utara, Kabupaten Bombana, Provinsi Sulawesi Tenggara, tersusun oleh batuan ultramafik yang merupakan sumber utama nikel. Tujuan penelitian mengetahui hubungan alumina, magnesium, dan silika serta mengetahui karakteristik profil dan tipe endapan nikel laterit pada daerah penelitian, mengetahui karakteristik tipe endapan nikel laterit pada daerah penelitian. Metode yang digunakan adalah melakukan pengamatan dilapangan, pengambilan data *drillhole*, analisis petrografi, dan geokimia menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescence Spectrometry*). Data diolah dengan menggunakan *software ArcGis 10.7, Microsoft Excel*. Berdasarkan hasil penelitian, profil laterit daerah penelitian dibagi menjadi 3 zona yaitu zona limonit dengan mineral yang dijumpai yaitu hematit, goetit, mangan. Zona transisi hingga saprolit dengan mineral yang dijumpai yaitu goetit, garnierit, mangan, serta zona saprolit hingga *bedrock* dengan mineral yang dijumpai yaitu olivin, piroksin, dan serpentin. Hasil analisis petrografi diketahui bahwa batuan dasar pada daerah penelitian merupakan batuan *harzburgite, wehrlite*, dan *serpentin*. Berdasarkan korelasi dan tingkat kekuatan hubungan Ni memiliki korelasi negatif terhadap Al, dan Fe, sebaliknya Ni memiliki korelasi positif terhadap MgO, dan SiO₂, Berdasarkan karakteristik endapan nikel laterit diketahui bahwa tipe endapan nikel laterit pada daerah penelitian termasuk kedalam tipe *Hydrous Silicate Deposit*.

Kata Kunci : Batuan Ultramafik, Limonit, Nikel, Saprolit

ABSTRACT

The research area is included in the area of PT. Pacific Ore Resource, North Kabaena District, Bombana Regency, Southeast Sulawesi Province, is composed of ultramafic rocks which are the main source of nickel. Purpose of research is to determine the relationship between alumina, magnesum, and silica, to determine the profile characteristics of laterite nickel deposit types in the research area. The method used is field observation, drillhole data collection, petrographic and geochemical analysis using XRF (X-Ray Fluorescence Spectrometry). Data was processed using ArcGIS 10.7 software, Microsoft Excel. Based on the results of the study, the laterite profile of the research area was divided into 3 zones, namely the limonite zone with minerals found namely hematite, goethite, manganese. The transition zone to saprolite with minerals found namely goethite, garnierite, manganese, and saprolite to bedrock zones with minerals found namely olivine, pyroxene and serpentine. The results of petrographic analysis show that the bedrock in the study area is harzburgite, wehrlite, and serpentinite. Based on the correlation and the level of strength of the relationship, Ni has a negative correlation with Al and Fe, conversely Ni has a positive correlation with MgO and SiO₂. Based on the characteristics of nickel laterite deposits, it is known that the type of nickel laterite deposits in the study area belongs to the type of Hydrous Silicate Deposit.

Keywords: *Ultramafic Rock, Limonite, Nickel, Saprolite*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“Analisis Pengaruh Alumina, Magnesium, dan Silika Terhadap Ni Pada Zona Limonit dan Zona Saprolit PT. Pacific Ore Resources Kecamatan Kabaena Utara Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Tenggara”**.

Pada kesempatan ini penulis tidak lupa ingin menyampaikan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membimbing, mengarahkan, dan membantu penulis dalam menyusun laporan ini, antara lain :

1. Bapak Dr. Sultan S.T, M.T., sebagai Dosen Pembimbing Satu pada Penelitian ini.
2. Bapak Dr. Ir. M. Fauzi Arifin, M.Si. sebagai Dosen Pembimbing Dua pada Penelitian ini.
3. Ibu Dr. Ir. Haerany Sirajuddin, M.T. dan Bapak Prof. Dr. Adi Tonggihroh, S.T., M.T. IPM sebagai Dosen Penguji pada Penelitian ini.
4. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T. M.Eng sebagai Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Seluruh Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin yang telah memberikan bimbingannya selama perkuliahan.
6. Staff Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin yang selama ini selalu membantu dalam pengurusan administrasi di kampus.
7. Bapak Muhammad Ihsan S.T selaku Kepala Teknik Tambang PT. Pacific Ore Resources tempat penulis melakukan kerja praktek untuk pengambilan data dalam penelitian ini.
8. Bapak Muhammad Lutfi, S.T, Bapak Enos Paembonan, S.T, selaku pembimbing dalam pelaksanaan kerja praktek dan tugas akhir di PT. Pacific Ore Resources.
9. Saudaraku Maulana Alimul Haq Aljaru dan Muhammad Dwiki Mulyawan yang senantiasa menemani penulis dalam proses pengambilan data lapangan.

10. Kedua orang tua atas segala bantuan materil dan moril yang senantiasa tercurahkepada penulis.
11. Rekan-rekan mahasiswa Geologi angkatan 2018 (Xenolith).
12. Himpunan Mahasiswa Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (HMG FT-UH).
13. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, atas segala bantuan dan dorongan yang diberikan selama ini.

Penulis mengharapkan adanya saran dan kritik dari pembaca yang bersifat membangun demi perbaikan laporan ini. Segala kesalahan serta kekeliruan yang ada tidak luput dari keterbatasan penulis sebagai manusia biasa yang memiliki banyak kekurangan.

Akhir kata, semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca, khususnya bagi penulis. Amin

Gowa, Agustus 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRAC	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	2
1.6 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Geologi Regional.....	4
2.2 Geologi Regional Daerah Penelitian	4
2.2.1 Geomorfologi Daerah Penelitian.....	4
2.2.2 Stratigrafi Daerah Penelitian	6
2.2.3 Struktur Geologi Daerah Penelitian	7
2.3 Batuan Dasar Pembawa Ni.....	8
2.4 Endapan Nikel Laterit	9
2.5 Genesa Endapan Nikel Laterit.....	12
2.6 Profil Laterit	17
2.7 Faktor Pengontrol Laterit	19
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
3.1 Metode Penelitian.....	23
3.2 Tahap Observasi Lapangan	24

3.3	Tahap Analisis Laboratorium.....	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Karakteristik Profil Laterit	35
4.1.1	Lapisan Limonit	37
4.1.2	Lapisan Saprolit.....	38
4.1.3	Lapisan Bedrock.....	39
4.2	Korelasi Al, Fe, MgO, dan SiO ₂ Terhadap Ni.....	42
4.2.1	Hubungan Ni dengan Fe.....	42
4.2.2	Hubungan Ni dengan Al.....	44
4.2.3	Hubungan Ni dengan MgO	46
4.2.4	Hubungan Ni dengan SiO ₂	48
4.2.5	Karakteristik Fe, Al, MgO, dan SiO ₂ Pada Zona Limonit dan Saprolit.....	52
4.3	Karakteristik Endapan Nikel Laterit	54
BAB V PENUTUP.....		56
5.1	Kesimpulan.....	56
5.2	Saran.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Peta Tunjuk Lokasi.....	3
Gambar 2. 2	Distribusi vertikal mineral yang umum pada penampang nikel laterit (Elias, 2002)	13
Gambar 2. 3	Distribusi global deposit nikel laterit, pembagian tipe deposit berdasarkan peta morphoclimatic (modifikasi Budel dalam Butt dan Morris 2005)	14
Gambar 2. 4	Clay silicate deposit, Murrin Australia (Butt dan Morris, 2005)	15
Gambar 2. 5	Profil laterit deposit oksida, Goro New Caledonia	15
Gambar 2. 6	<i>Hydrous silicate deposit</i> , New Caledonia.....	17
Gambar 2. 7	Tipe laterit (Elias, 2005).....	17
Gambar 2. 8	Generalisasi profil laterit (Elias,2002).....	19
Gambar 3. 1	Pembuatan Akses Jalan untuk Persiapan Pengeboran Eksplorasi	24
Gambar 3. 2	Proses Pengangkatan (Moving) Alat Bor MD ke Lokasi Pengeboran	25
Gambar 3. 3	Pembuatan <i>Drillpad</i> untuk Dudukan Mesin Bor MD	25
Gambar 3. 4	Pemasangan Seluruh Komponen Alar Bor MD	26
Gambar 3. 5	Pelaksanaan Proses Pengeboran	27
Gambar 3. 6	Proses Pelepasan Inti Bor dari Core Barrel	27
Gambar 3. 7	Sampel Core Box.....	28
Gambar 3. 8	Reduksi ukuran menjadi -20 mm	29
Gambar 3. 9	Pembuatan Quartering	29
Gambar 3. 10	Pengeringan Sampel dengan <i>Big Drying Oven</i>	30
Gambar 3. 11	Reduksi Ukuran -3 mm menggunakan Mesin <i>Double Roll</i>	31
Gambar 3. 12	<i>Splitter</i>	31
Gambar 3. 13	Reduksi Ukuran #200 <i>Mash</i> dengan Mesin <i>Pulverizer</i>	32
Gambar 3. 14	Pengambilan Sampel Hasil Matriks 4x5	32
Gambar 3. 15	Kegiatan <i>Press Pellet</i> untuk Persiapan Analisis XRF	33
Gambar 3.16	Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 4. 1	Profil Laterit Daerah Penelitian.....	37
Gambar 4. 2	Sampel <i>Core Box</i> Zona Limonit.....	38

Gambar 4. 3	Sampel <i>Core Box</i> Zona Saprolit	39
Gambar 4. 4	Sampel <i>Core Box</i> Zona Bedrock	39
Gambar 4. 5	Batuan Peridotit Sampel Hole MP0120	40
Gambar 4. 6	Kenampakan Petrografi Sayatan Tipis Hole ID MP0120	41
Gambar 4. 7	Kenampakan Petrografi Sayatan Tipis Hole ID MP0201	41
Gambar 4. 8	Kenampakan Petrografi Sayatan Tipis Hole ID MP0132	42
Gambar 4. 9	Distribusi Kadar Fe Pada Zona Limonit.....	43
Gambar 4. 10	Distribusi Kadar Fe Pada Zona Saprolit.....	44
Gambar 4. 11	Distribusi Kadar Al Pada Zona Limonit.....	45
Gambar 4. 12	Distribusi Kadar Al Pada Zona Saprolit.....	46
Gambar 4. 13	Distribusi Kadar MgO Pada Zona Limonit	47
Gambar 4. 14	Distribusi Kadar MgO Pada Zona Saprolit	48
Gambar 4. 15	Distribusi Kadar SiO ₂ Pada Zona Limonit	49
Gambar 4. 16	Distribusi Kadar SiO ₂ Pada Zona Saprolit	50
Gambar 4. 17	Distribusi Kadar Fe, Al, MgO, dan SiO ₂ Pada Zona Limonit..	51
Gambar 4. 18	Profil Vertikal Laterit	53
Gambar 4. 19	Karakteristik Endapan Laterit Daerah Penelitian	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Peran beberapa elemen selama pelapukan laterit	11
Tabel 4. 1	Kadar Ni dan Fe.....	43
Tabel 4. 2	Kadar Ni dan Fe.....	44
Tabel 4. 3	Kadar Ni dan Al.....	45
Tabel 4. 4	Kadar Ni dan Al.....	46
Tabel 4. 5	Kadar Ni dan MgO	47
Tabel 4. 6	Kadar Ni dan MgO	48
Tabel 4. 7	Kadar Ni dan SiO ₂	49
Tabel 4. 8	Kadar Ni dan SiO ₂	50
Tabel 4. 9	Rata – Rata Kadar Unsur Setiap Titik Bor Daerah Penelitian..	52
Tabel 4. 10	Parameter perbedaan endapan nikel laterit (Freysnet, 2005)..	55

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan letak geografisnya Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya alam, terutama bahan tambang yang merupakan sumberdaya alam yang tidak dapat diperbaharui. Salah satu contoh sumber daya alam tersebut yang sangat penting adalah Nikel. Nikel merupakan salah satu sumberdaya alam yang memiliki banyak manfaat seperti pembuatan logam anti karat, campuran pada pembuatan *stainless steel* dan berbagai jenis barang lainnya. Keserbagunaan ini pula yang menjadikan nikel sangat berharga dan memiliki nilai jual tinggi di pasar dunia. Setidaknya sejak 1950 permintaan akan nikel rata-rata mengalami kenaikan 4% tiap tahun, dan diperkirakan sepuluh tahun mendatang terus mengalami peningkatan (Evans, 1993).

Bijih nikel diperoleh dari endapan nikel laterit yang terbentuk akibat pelapukan batuan ultramafik yang mengandung nikel 0,2 – 0,4 % (Golightly, 1981). Jenis-jenis mineral yang terlapukan dalam batuan tersebut antara lain olivin, piroksin, dan amphibol. Nikel laterit umumnya ditemukan pada daerah tropis, dikarenakan iklim yang mendukung terjadinya pelapukan, selain topografi, *drainase*, tenaga tektonik, batuan induk, dan struktur geologi (Elias, 2002)

Tentunya keberadaan endapan nikel laterit tersebut, memiliki perbedaan karakteristik pada masing-masing daerah. Perbedaan tersebut dapat diketahui dari sifat fisik yang nampak di atas permukaan meliputi jenis laterit, litologi dan kondisi morfologi. Selain itu perbedaan sifat kimia berupa persentase kandungan unsur-unsur kimianya. Oleh karena itu dilakukan penelitian ini untuk mengetahui “Analisis Pengaruh Alumina, Magnesium, dan Silika Terhadap Ni Pada Zona Limonit dan Zona Saprolit PT. Pacific Ore Resources Kecamatan Kabaena Utara Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Tenggara”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas dapat dirumuskan masalah dalam penelitian iniialah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh alumina, magnesium, dan silika terhadap Ni pada zona limonit dan zona saprolit endapan nikel laterit daerah penelitian.
2. Bagaimana karakteristik profil dan tipe endapan nikel laterit pada daerah penelitian.

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi laterisasi daerah penelitian berdasarkan hasil korelasi karakteristik geokimia unsur terhadap endapan nikel laterit.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui hubungan alumina, magnesium, dan silika terhadap Ni pada zona limonit dan zona saprolit endapan nikel laterit daerah penelitian.
2. Mengetahui karakteristik profil dan tipe endapan nikel laterit pada daerah penelitian.

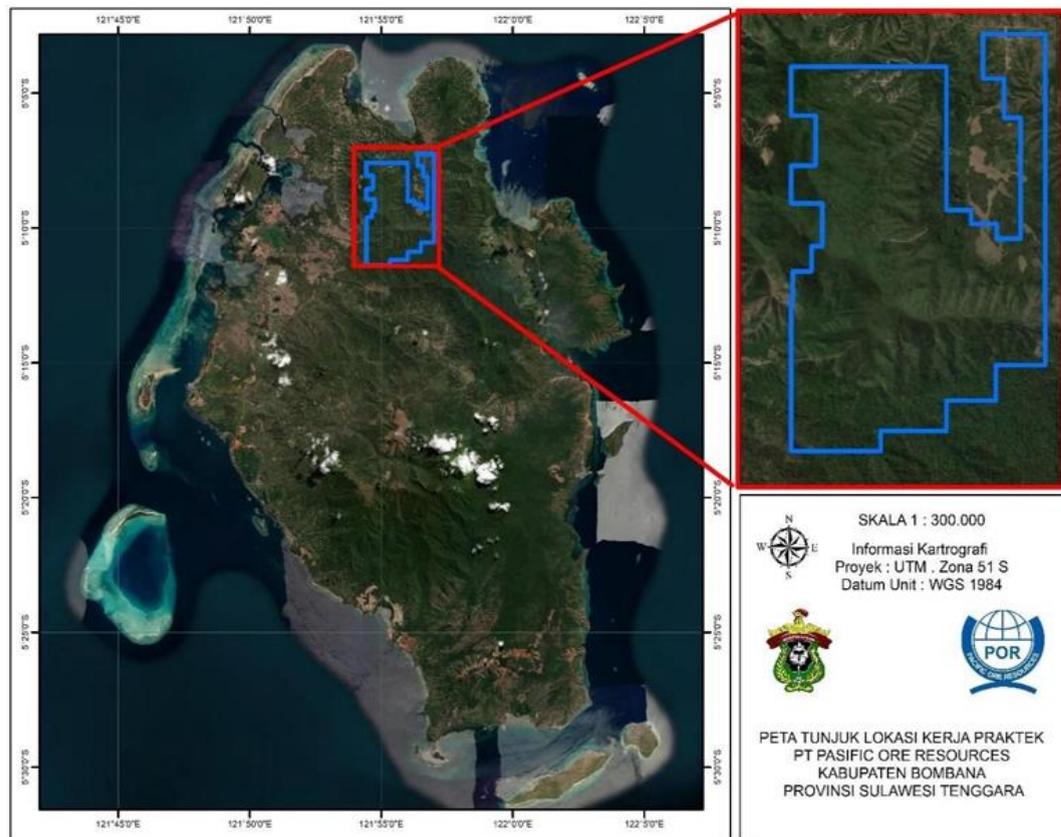
1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan terbatas pada karakteristik fisik permukaan dan bawah permukaan endapan nikel laterit, karakteristik geokimia unsur alumina, magnesium, dan silika endapan laterit pada blok X PT. Pasific Ore Resource melalui analisa sampel pemboran (*core*) dan analisa laboratorium berupa analisa XRF dan petrografi.

1.5 Lokasi dan Waktu Penelitian

Secara administrasi berada di Desa Larolanu Kecamatan Kabaena Utara Kabupaten Kabaena Provinsi Sulawesi Tenggara. Sedangkan secara geografis lokasi penelitian dibatasi dengan koordinat $121^{\circ} 54' 26''$ BT – $121^{\circ} 57' 0,10$ BT dan $05^{\circ} 7' 15,20''$ LS – $05^{\circ} 11' 23,1''$ LS. Wilayah IUP ini dapat dijangkau dengan transportasi darat dan laut dari kota Makassar menuju ke lokasi kerja praktik

terlebih dahulu ditempuh menggunakan jalur darat melalui Kota Makassar, Kabupaten Gowa, Jeneponto, Bantaeng, Bulukumba dan Pelabuhan Bira selama \pm 5 jam. Kemudian dilanjutkan dengan perjalanan laut dari Pelabuhan Bira menuju Pulau Kabaena tepatnya di Pelabuhan Sikeli selama \pm 10 jam menggunakan transportasi laut (Kapal Fery). Lokasi PT. Pacific Ore Resources berjarak kurang lebih 25 km dari Pelabuhan Sikeli. Perjalanan dari Pelabuhan sikeli menuju lokasi PT. Pacific Ore Resources ditempuh menggunakan kendaraan roda empat dengan perjalanan sekitar \pm 1 jam.



Gambar 1. 1 Peta Tunjuk Lokasi

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini secara umum sebagai referensi yang berkaitan dengan pengaruh alumina, magnesium dan silika pada zona limonit dan zona saprolit, serta karakteristik profil dan tipe endapan nikel .

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Geologi Regional lokasi IUP merupakan bagian dari fisiografi Geologi Regional Lembar Kolaka dalam skala 1 : 250.000. Geologi regional Sulawesi terletak pada pertemuan 3 Lempeng besar yaitu Eurasia, Pasifik dan Indo Australia serta sejumlah lempeng lebih kecil (Lempeng Filipina) yang menyebabkan kondisi tektoniknya sangat kompleks. Kumpulan batuan dari busur kepulauan, kepulauan batuan bancuh, bancuh ofiolit, dan bongkah dari mikrokontinen terbawa bersama proses penunjuman, tumpukan, sertas proses tektonik lainnya (Van Leeuwen, 1994).

Lokasi IUP termasuk bagian Sulawesi Tenggara yang sebagian besarnya terdiri dari kompleks batuan basa dan ultrabasa yang mengalami deformasi yang kuat sehingga sebagian besar ditempati oleh jalur batuan ophiolite. Morfologi lembar Kolaka dapat dibedakan menjadi empat satuan yaitu pegunungan, perbukitan, karst dan daratan rendah (Rusmana, dkk, 1993).

Van bemmelen (1995) membagi lengan Sulawesi tenggara menjadi tiga bagian: ujung utara, bagian tengah, dan ujung selatan. Lembar kolaka menempati bagian tengah dan ujung selatan dari lengan tenggara Sulawesi. Ada lima satuan morfologi pada bagian tengah dan ujung selatan lengan tenggara Sulawesi, yaitu morfologi pegunungan, morfologi perbukitan tinggi, morfologi perbukitan rendah, morfologi pendaratan dan morfologi karst.

2.2 Geologi Regional Daerah Penelitian

2.2.1 Geomorfologi Daerah Penelitian

Wilayah penambangan PT Pacific Ore Resources termasuk kedalam lembar kolaka yang terdapat pada bagian tengah dan ujung selatan dari lengan tenggara Sulawesi. Ada lima satuan morfologi pada bagian tengah dan ujung selatan lengan tenggara Sulawesi, yaitu morfologi pegunungan, morfologi perbukitan tinggi, morfologi perbukitan rendah, morfologi pendaratan dan morfologi karst.

A. Morfologi Pegunungan

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

Satuan pegunungan terutama dibentuk oleh batuan malihan dan setempat oleh batuan ofiolit. Ada perbedaan yang khas di antara kedua penyusun batuan itu. Pegunungan yang disusun oleh batuan ofiolit mempunyai punggung gunung yang panjang dan lurus dengan lereng relative lebih rata, serta kemiringan yang tajam. Sementara itu, pegunungan yang dibentuk oleh batuan malihan, punggung gunungnya terputus pendek-pendek dengan lereng yang tidak rata walaupun bersudut tajam.

B. Morfologi Perbukitan Tinggi

Morfologi perbukitan tinggi menempati bagian selatan Lengan Tenggara, terutama di selatan Kendari. Satuan ini terdiri atas bukit-bukit yang mencapai ketinggian 500 mdpl dengan morfologi kasar. Batuan penyusun morfologi ini berupa batuan sedimen klastika Mesozoikum dan Tersier.

C. Morfologi Perbukitan Rendah

Morfologi perbukitan rendah melampar luas di utara Kendari dan ujung selatan lengan Tenggara Sulawesi. Satuan ini terdiri atas bukit kecil dan rendah dengan morfologi yang bergelombang. Batuan penyusun satuan ini terutama batuan sedimen klastika Mesozoikum dan Tersier.

D. Morfologi Pedataran

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

Dataran Langkowala yang melampar luas di ujung selatan Lengan Tenggara, merupakan dataran rendah. Batuan penyusunnya terdiri atas batupasir kuarsa dan konglomerat kuarsa Formasi Langkowala. Dalam dataran rendah ini mengalir sungai-sungai yang pada musim hujan berair melimpah sedang pada musim kemarau kering. Hal ini mungkin disebabkan batupasir dan konglomerat sebagai dasar sungai masih lepas, sehingga air dengan mudah merembes masuk ke dalam tanah. Sungai tersebut di antaranya Sungai Langkowala dan Sungai Tinanggea. Batas selatan antara Dataran Langkowala dan Pegunungan Rumbia merupakan tebing terjal yang dibentuk oleh sesar berarah hampir barat timur.

E. Morfologi Karst

Morfologi karst melampar di beberapa tempat secara terpisah. Satuan ini dirincikan perbukitan kecil dengan sungai di bawah permukaan tanah. Sebagian besar batuan penyusun satuan morfologi ini didominasi oleh batugamping berumur Paleogen dan selebihnya batugamping Mesozoikum. Batugamping ini merupakan bagian Formasi Emoiko, Formasi Laonti, Formasi Buara dan bagian atas dari Formasi Meluhu. Sebagian dari batugamping ini erat hubungannya dengan pensesar-naikkan ofiolit ke atas kepingan benua.

2.2.2 Stratigrafi Daerah Penelitian

Formasi batuan penyusun daerah penyelidikan yang termasuk dalam lembar Kolaka yaitu termasuk dalam Formasi Kompleks Ultrabasa/Batuan Ofiolit (Ku)

terdiri atas Peridotit, hasburgit, dunit, gabro 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 terserpentinasi kuat yang ditunjukkan oleh struktur sisa seperti rijang dan barik-barik mineral olivin dan piroksin, serpentinit dan talkum 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. Lherzolite, 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.

2.2.3 Struktur Geologi Daerah Penelitian

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 Bijih Nikel 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 Bijih Nikel kekar ini tampak teratur yang membentuk kelurusan (E. Rusmana dkk, 2010). Kekar pada batuan beku umumnya menunjukkan arah tak beraturan.

2.3 Batuan Dasar Pembawa Ni

Batuan Dasar merupakan batuan induk atau lebih dikenal dengan sebutan *Bedrock*. Menurut Ahmad (2002), 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:

1. 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.

2. Piroksinit

Menurut Ahmad (2002), 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. a. Orthopyroxenites: Bronzites b. Clinopyroxenites: Diopsidites; diallagites.

3. Hornblendit

Hornblendit merupakan batuan ultramafik monomineral dengan komposisi mineral sepenuhnya hornblende.

4. 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). Ahmad (2002), menyatakan bahwa dunit memiliki komposisi mineral hampir seluruhnya adalah monomineralik olivine (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 olivine anedral yang saling mengikat. Terbentuk batuan yang terdiri dari olivine murni (dunit) misalnya, membuktikan bahwa larutan magma (*liquid*) berkomposisi olivine memisah dari larutan yang lain.

5. Serpentinit

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

2.4 Endapan Nikel Laterit

Endapan hasil pelapukan atau yang sering disebut dengan weathering atau residual deposit adalah endapan yang terbentuk akibat adanya proses pelapukan dari batuan yang mengandung bijih mineral yang ekonomis secara kimia yang tidak mengalami transportasi dan membentuk soil atau sering disebut dengan laterit.

Laterite deposit atau endapan laterit diartikan sebagai hasil dari proses pelapukan yang intensif didaerah humid, warm maupun tropik dan kaya akan 7 mineral lempung yang bersifat *kaolinitic* serta Fe dan Al *oxide/hydroxide*, endapan

laterit pada umumnya menampilkan bidang perlapisan yang baik sebagai hasil reaksi antara air hujan yang masuk ke dalam formasi dan kelembapan tanah permukaan.

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:

- 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)

<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 hydroxides (manganite, pyrochroite & 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 & 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 & maghemite) and hydroxides (turgite, goethite, hydrogoethite, limonite, ferrihydrite, xanthosiderite & esmeraldaite)</i>

- a. Ca. Kalsium memiliki sifat yang sangat larut dalam air tanah di daerah tropis.
- b. 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.
- c. 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.

- d. Fe. Kelarutan zat besi sangat bervariasi tergantung pada keadaan valensinya, dimana zat besi (Fe $^{++}$) cukup larut dalam air tanah sedangkan zat besi (Fe $^{+++}$) sangat tidak larut.
- e. 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)
- f. Cr. Kromium 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, 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.

2.5 Genesa Endapan Nikel Laterit

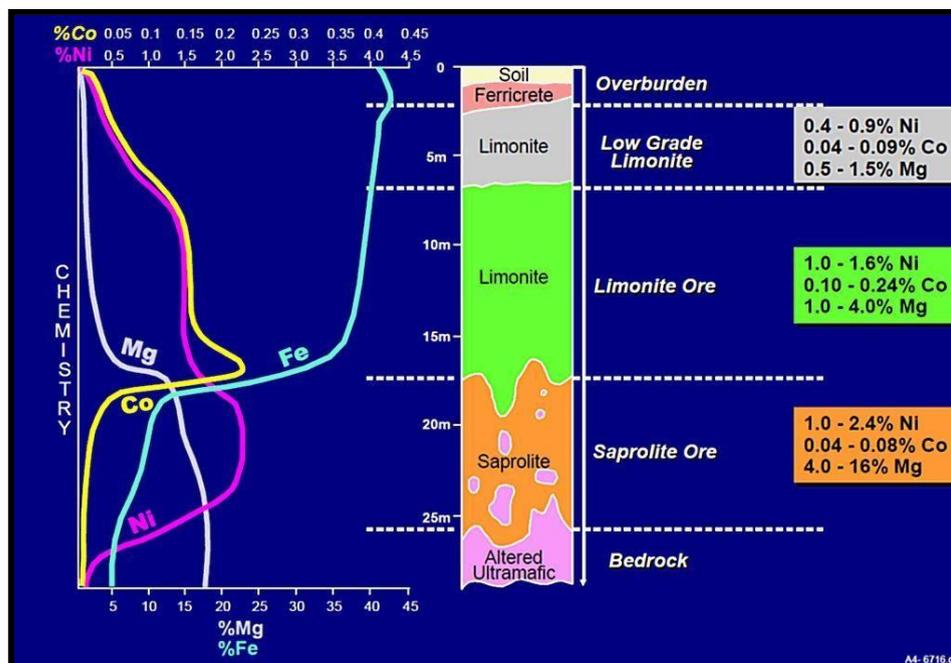
Genesa dari endapan laterit dimulai dari pelapukan batuan ultramafik (peridotit, dunit, serpentinit) yang banyak mengandung mineral olivin, piroksin, magnesium silikat, dan besi silikat dengan kandungan nikel kira-kira sebesar 0.30%. Proses laterisasi pada endapan nikel laterit diartikan sebagai proses 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 CO₂ 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 CO₂ 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/*leaching*.

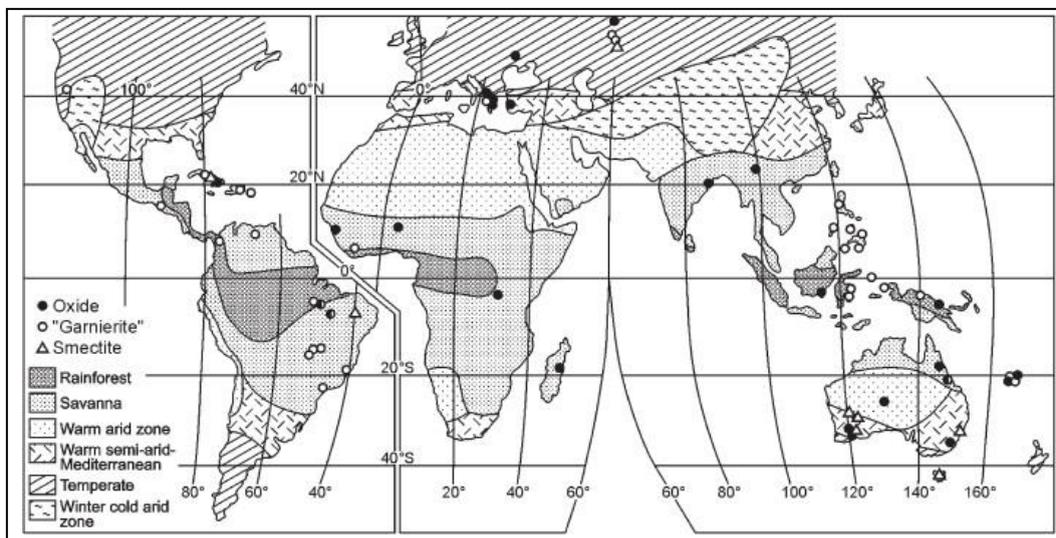
Pada proses pelapukan lebih lanjut magnesium (Mg), Silika (Si), dan Nikel (Ni) akan tertinggal di dalam larutan selama air masih bersifat asam. Tetapi jika dinetralisasi karena adanya reaksi dengan batuan dan tanah, maka zat-zat tersebut akan cenderung mengendap sebagai mineral hidrosilikat (Ni-magnesium 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, dan H akan membentuk mineral garnierit. Apabila proses ini berlangsung terus-menerus maka yang akan terjadi adalah proses pengayaan *supergen enrichment*. Zona pengayaan supergen ini terbentuk di zona saprolit.



Gambar 2. 1 Distribusi vertikal mineral yang umum pada penampang nikel laterit (Elias, 2002)

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).



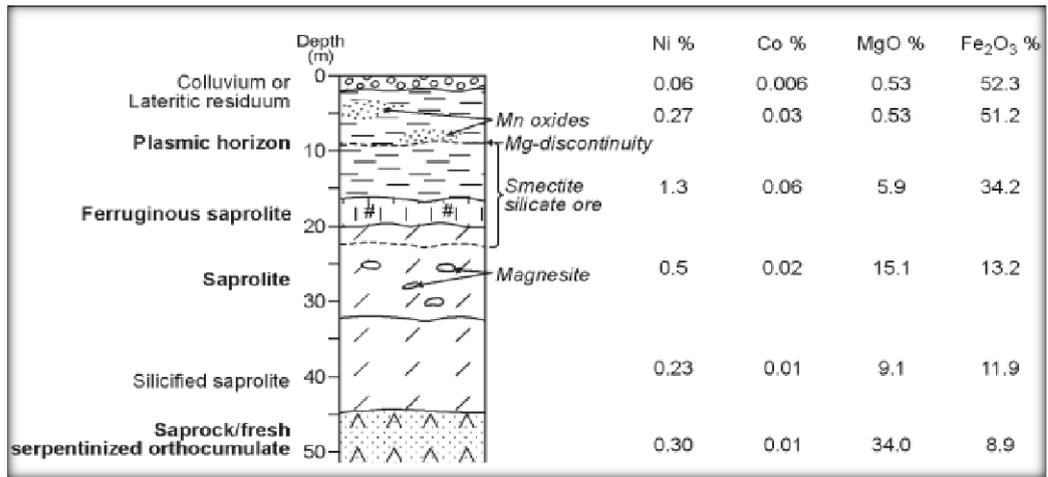
Gambar 2. 2 Distribusi global deposit nikel laterit, pembagian tipe deposit berdasarkan peta morphoclimatic (modifikasi Budel dalam Butt dan Morris 2005)

Brand, dkk (1998) membedakan tiga jenis deposit pokok, berdasarkan mineralisasi bijih yaitu *Hydrous Silicate Deposit*, *Clay Silicate Deposit* dan *Oxides Deposit*. Terdapat hubungan antara tipe deposit dimana *Hydrous silicates* melimpah pada iklim tropis yang sekarang mirip dengan iklim lokal. *Oxide and clay silicate deposits* terbentuk dari semua pergantian iklim. (Butt dan Morris, 2005).

A. *Clay Silicate Deposit*

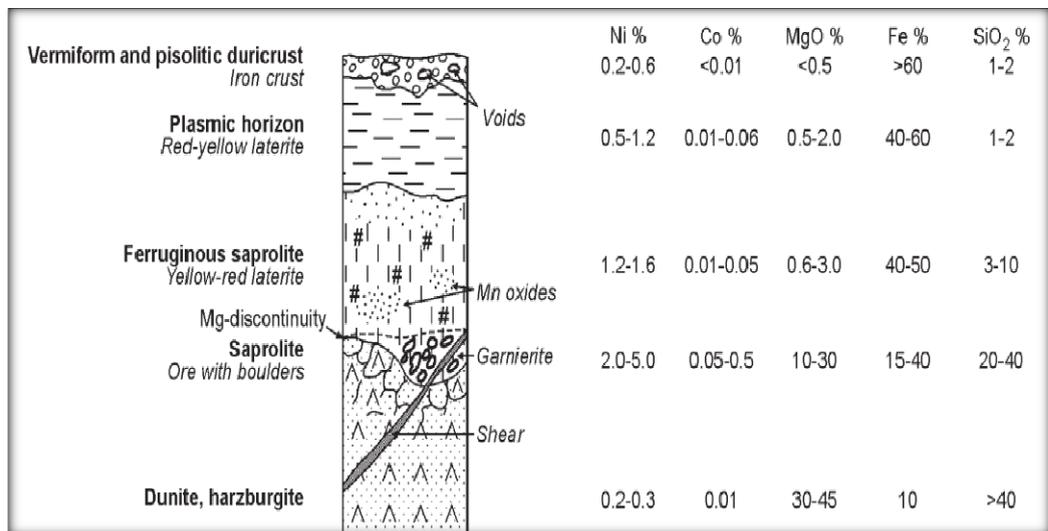
Kondisi pelapukan yang tidak berjalan dengan baik seperti pada iklim dingin dan iklim panas, silika tidak tercuci sebagaimana di lingkungan tropis lembab. Silika tersebut kemudian bergabung bersama Fe dan Al membentuk zona dimana lempung smektit (nontronit) mendominasi. Silika sisa dari pembentukan nontronit kemudian terendapkan sebagai nodul opal atau kalsedon dalam lempung. Profil

laterit seperti ini biasanya ditindih oleh lapisan tipis yang kaya Fe oksida di bagian atasnya dan didasari oleh lapukan saprolit yang mengandung serpentin dan nontronit (Elias, 2005). *Clay silicate deposit* didominasi oleh nontronite dan montmorilonite tampak lebih mudah terbentuk dari batuan ultramafik yang mengandung mikroskopis, seperti ortokumosis komatiitik dari pada orthopyroxene, karena konsentrasi Ca, Na, dan Al awal yang lebih tinggi.



Gambar 2.3 Clay silicate deposit, Murrin Australia (Butt dan Morris, 2005)

B. Oxides Deposit



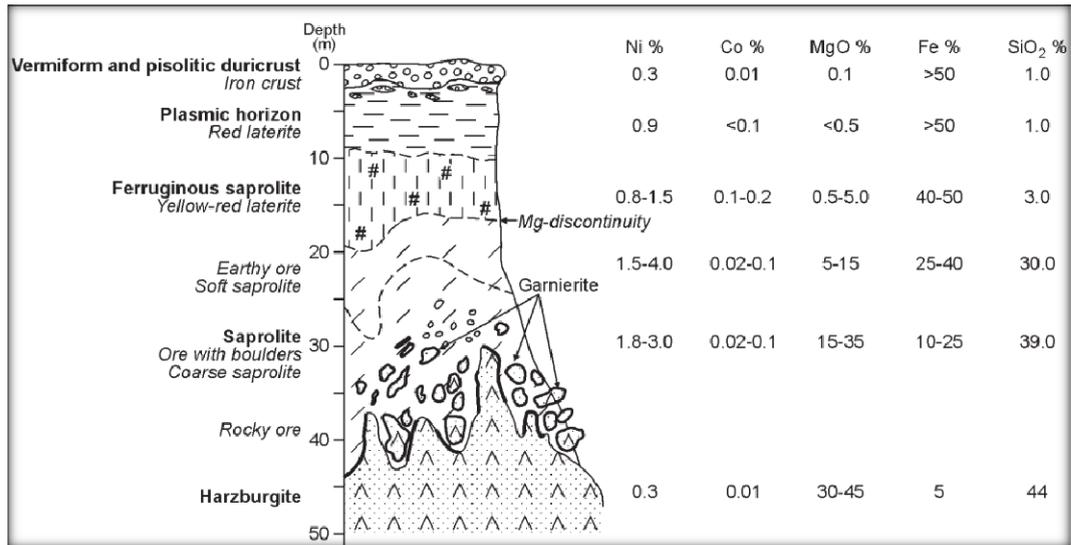
Gambar 2.4 Profil laterit deposit oxida, Goro New Caledonia

Oxides deposit adalah produk akhir yang paling umum dari lateritisasi batuan ultramafik. Dengan adanya air, mineral pembentuk batuan primer

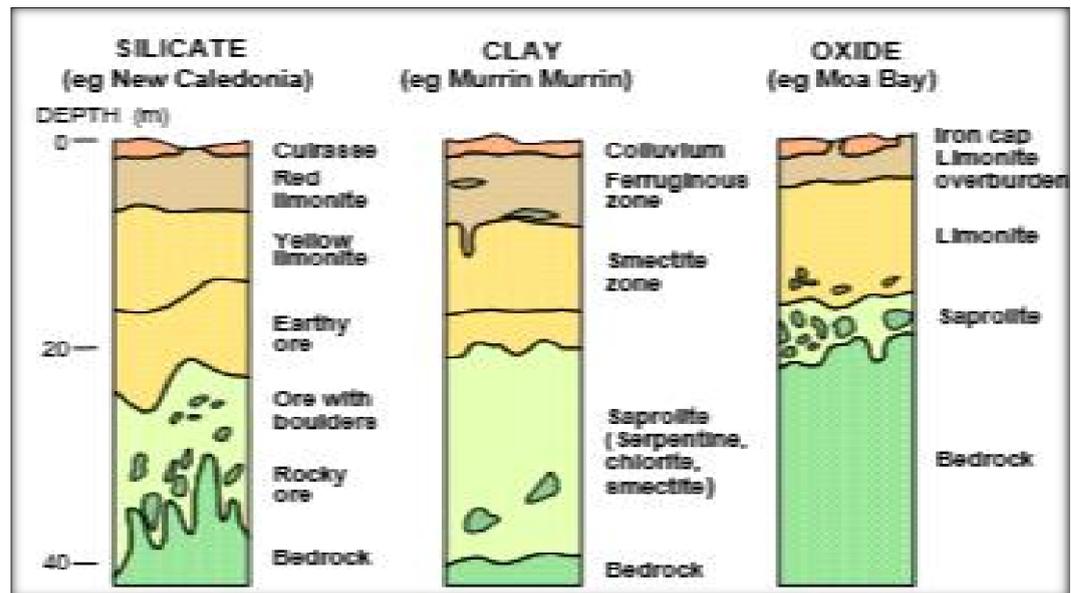
(terutama olivin dan / atau serpentin, *orthopyroxene* dan yang kurang umum adalah *clinopyroxene*) dipecah oleh hidrolisis yang melepaskan unsur penyusunnya sebagai ion dalam larutan berair. Olivine adalah mineral yang paling tidak stabil dan merupakan yang pertama mengalami pelapukan. Di lingkungan tropis yang lembab, Mg^{2+} nya benar-benar tercuci dan hilang karena air tanah, dan Si sebagian besar tercuci dan dibuang. Fe^{2+} juga dilepaskan namun dioksidasi dan diendapkan sebagai hidroksida besi, awalnya bersifat amorf atau kurang kristalin tapi secara progresif mengkristal ulang dengan tanaman *goethite* yang membentuk *pseudomorph* setelah olivin. *Orthopyroxene* dan *serpentine* hidrolisis setelah olivin, juga melepaskan Mg, Si dan digantikan oleh *pseudomorph goethitik*. Awalnya, sementara mineral *ferro-magnesium* yang ada tetap tidak *bermanning* dan mendukung lapisan batu, transformasi tekstur *isovolumetrik* dan batuan primer, namun seiring dengan hancurnya mineral primer, bergantung pada tekstur primer yang hilang karena pemadatan yang menghasilkan *goethite* dengan tekstur masif. Transformasi mineralogi yang melibatkan hilangnya Mg dan konsentrasi residu Fe menghasilkan tren kimia yang jelas dan familiar pada laterit Mg yang menurun ke atas dan Fe meningkat ke atas melalui profil laterit.

C. *Hydrous Silicate Deposit*

Laterit silika terbentuk pada kondisi dimana terjadinya pengangkatan secara perlahan namun konsisten dan muka air tanah rendah yang stabil pada profil laterit. Pelapukan yang terjadi dalam waktu lama menghasilkan zona saprolit yang tebal yang mungkin ditutupi oleh lapisan limonit yang tipis tergantung dari intensitas erosi pada bagian atas profil laterit. Laterit silikat memiliki karakteristik dengan pengayaan Ni pada zona saprolit yang di dalamnya juga terdapat mineral-mineral alterasi seperti serpentin, smektit, dan garnierit (Elias, 2005).



Gambar 2. 5 Hydrous silicate deposit, New Caledonia



Gambar 2. 6 Tipe laterit (Elias, 2005)

2.6 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.

Menurut Golightly (1979) profil laterit dibagi menjadi 4 zonasi, yaitu:

1. Zona Limonit (LIM)

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 (lempunganau), sering dijumpai mineral stabil seperti spinel, magnetit dan kromit.

a) Batuan Asal

Laterit Ni – Fe menurut (Ahmad, 2006) 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.

2. Zona *Medium Grade Limonite* (MGL)

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

3. Zona Saprolit

Zona saprolit merupakan zona bijih, tersusun atas fragmen-fragmen batuan induk yang teralterasi, sehingga mineral penyusun, tekstur dan struktur batuan dapat dikenali. Derajat serpentinisasi batuan asal laterit akan mempengaruhi

pembentukan zona saprolit, dimana peridotit yang sedikit terserpentinisasi akan memberikan zona saprolit dengan batuan sisa yang keras, pengisian celah oleh mineral – mineral garnierit, kalsedon-nikel dan kuarsa, sedangkan serpentininit akan menghasilkan zona saprolit yang relatif homogen dengan sedikit kuarsa atau garnierit.

4. Zona batuan induk (*Bedrock zone*)

Zona batuan induk berada pada bagian paling bawah dari profil laterit. Batuan induk ini merupakan batuan yang masih segar dengan pengaruh proses-proses pelapukan sangat kecil. Batuan induk umumnya berupa peridotit, serpentininit, atau peridotit terserpentinisasikan.

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. 7 Generalisasi profil laterit (Elias,2002)

2.7 Faktor Pengontrol Laterit

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

b) 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

c) 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, 2013). Menurut (Ahmad, 2006) tanah laterit 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.

d) PH

Menurut (Ahmad, 2006) 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.

e) Tektonik

Tektonisme 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 danmemperlambat gerak air tanah (Elias, 2005)

f) 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).

2.8 Analisis Korelasi Regresi dan Linear

Persamaan regresi linear merupakan suatu model persamaan yang dapat menggambarkan hubungan antar variabel, seperti variabel X yaitu kadar Ni dan Variabel Y yaitu unsur lainnya (Al, Fe, MgO, SiO₂). Persamaan regresi linier secara matematik dapat di tuliskan dengan rumus:

$$Y = a + bX$$

Keterangan :

Y = garis regresi/ variable *response*

a = konstanta (intersep), perpotongan dengan sumbu vertikal

b = konstanta regresi (*slope*)

X = variabel bebas/ *predictor*

Besarnya konstanta a dan b dapat ditentukan menggunakan persamaan :

$$a = \frac{\sum(Y_i)(\sum X_i^2) - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

$$b = \frac{n \sum(X_i Y_i) - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

Yang mana n = jumlah data

Sedangkan untuk mengukur kekuatan hubungan antar variable *predictor* X dan *response* Y, dilakukan analisis korelasi yang hasilnya dinyatakan oleh suatu bilangan yang dikenal dengan koefisien korelasi. Biasanya analisis regresi sering dilakukan bersama-sama dengan analisis korelasi. Persamaan koefisien korelasi (r) dihitung dengan fomula :

$$r = \frac{n \sum X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i) (\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{[n \sum X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2] [n \sum Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}}$$

Tingkat korelasi dan kekuatan hubungan dapat dibagi menjadi 5 kategori dari tingkat hubungan sangat lemah hingga tingkat hubungan sangat kuat (Menurut Syofian Siregar, 2015). Berikut tabel tingkat korelasi dan kekuatan hubungan.

Tabel 2. 2 Tingkat korelasi dan kekuatan hubungan (Jonathan Sarwono, 2006)

No.	Nilai Korelasi (r)	Tingkat Hubungan
1	$r = 0$	Tidak ada korelasi antara 2 variabel
2	$0 < r < 0.25$	Korelasi antara 2 variabel sangat lemah
3	$0.25 < r < 0.50$	Korelasi antara 2 variabel cukup
4	$0.50 < r < 0.75$	Korelasi antara 2 variabel kuat
5	$0.75 < r < 0.99$	Korelasi antara 2 variabel sangat kuat
6	$r = 1$	Korelasi antara 2 variabel kuat sempurna