

SKRIPSI

**ANALISIS KORELASI MgO DAN SiO₂ TERHADAP NIKEL PADA
ENDAPAN NIKEL LATERIT DAERAH USSU KECAMATAN MALILI
KABUPATEN LUWU TIMUR PROVINSI SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh

MUKHAIMIN

D611 16 006



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

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**ANALISIS KORELASI MgO DAN SiO₂ TERHADAP NIKEL PADA
ENDAPAN NIKEL LATERIT DAERAH USSU KECAMATAN MALILI
KABUPATEN LUWU TIMUR PROVINSI SULAWESI SELATAN**

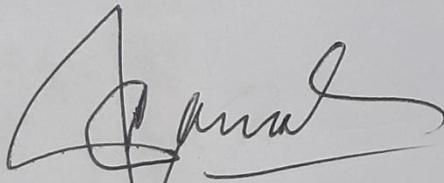
Disusun dan diajukan oleh :

**MUKHAIMIN
D611 16 006**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal Juli 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

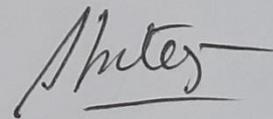
Menyetujui,

Pembimbing Utama



Ir. Jamal Rauf Husain, M.T
NIP. 19580316 198810 1 001

Pembimbing Pendamping,



Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T
NIP : 19650928 200003 1 002

Ketua Program Studi,



Dr. Eng. Asri Java, HS, S.T., M.T
NIP. 19690924 199802 1 001

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Mukhaimin
NIM : D611 16 006
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul

ANALISIS KORELASI MgO DAN SiO₂ TERHADAP NIKEL PADA
ENDAPAN NIKEL LATERIT DAERAH USSU KECAMATAN MALILI
KABUPATEN LUWU TIMUR PROVINSI SULAWESI SELATAN

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

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

Makassar, 10 juni 2021

Yang Menyatakan

A 10000 Indonesian postage stamp with a signature over it. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text '10000', 'TEL', 'METERAI', 'TEMPER', and 'ED4D4AJX281279940'. The signature is written in black ink over the stamp.

Mukhaimin

ABSTRAK

Secara administratif daerah penelitian termasuk dalam wilayah Daerah Ussu Kecamatan Malili Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan. Secara astronomis terletak pada koordinat $121^{\circ} 4' 55''$ Bujur Timur sampai $02^{\circ} 34' 35''$ Lintang Selatan dan $121^{\circ} 5' 45''$ Bujur Timur sampai $02^{\circ} 35' 5''$ Lintang Selatan. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui hubungan silika dan magnesia dalam keterdapatan bijih nikel pada daerah Ussu Kecamatan Malili melalui analisis data Pengeboran dan analisis laboratorium berupa data XRF (*X-Ray Fluorescence*) dan petrografi. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa pada korelasi silika (SiO_2) dan nikel (Ni) menunjukkan bahwa bijih nikel terkonsentrasi oleh SiO_2 . Dimana dapat dilihat pada grafik tersebut menunjukkan bahwa kadar Ni semakin menurun pada saat mendekati ultramafik sedangkan unsur SiO_2 semakin naik hal ini dapat diinterpretasikan bahwa kadar SiO_2 mempengaruhi peningkatan kadar bijih nikel. Hubungan MgO terhadap bijih nikel yaitu berbanding terbalik. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar MgO maka semakin rendah kadar bijih nikel begitupun sebaliknya. Dimana dapat diinterpretasikan bahwa kadar bijih nikel (Ni) terkonsentrasi oleh MgO menyebabkan pembentukan MgO berbanding terbalik terhadap keterdapatan bijih nikel. Adapun karakteristik batuan dasar pembentuk nikel laterit yaitu pada ultramafik unsur Ni memiliki rata – rata persentase kadar 0,28 %. Fe memiliki rata- rata persentase kadar 8,43 %. MgO memiliki rata – rata persentase kadar 28,37 %. SiO_2 memiliki rata – rata persentase kadar 46,87. Berdasarkan analisis petrografi, sampel *bedrock* menunjukkan bahwa mineral yang hadir didominasi oleh mineral olivine (45%), serpentin (28%), orthopiroksin (22%) dan opak (5%) sehingga dapat disimpulkan batuan asalnya adalah peridotit.

Kata kunci : *Geologi, MgO, SiO₂, nikel, peridotit*

ABSTRACT

Administratively, the research area is included in Ussu Region, Malili District, East Luwu Regency, South Sulawesi Province. Astronomically it is located at coordinates 121° 4 '55 "longitude east to 02 ° 34" 35 "south latitude and 121° 5" 45 "east longitude to 02 ° 35" 5 "south latitude. This study aim to determine the relationship between silica and magnesia in the presence of nickel ore in the Ussu area, Malili District through laboratory analysis in the form of XRF (X-Ray Fluorescence) and petrography data by using a scatter diagram.

Based on the results of the research, it was found that the megascopic physical appearance in the field of nickel ore which is influenced by silica were found in the saprolite layer. Has a variety of colors, namely light brown, gray, yellow and green. The material is sandy-rocky, starting from fractionation, size of gravel fragments, gravel to boulder, weak magnetic ability, dominated by pyroxine and serpentine minerals, while olivine and chrysopras minerals and silica minerals are found in moderate-not dominant quantities. Meanwhile, the scatter graph shows that the nickel ore is concentrated by silica. It can be interpreted that silica content affects the intensity of nickel ore with a coefficient of determination (R^2) of 0.0045. While magnesia is found in the limonite layer which is characterized by physical properties, as follows: light brown to dark brown, the cores are clay-sized, the magnetic ability is strong, minerals that are often found in this zone are in the form of minerals, hematite and goetite. The scatter graph shows that the relationship between MgO and nickel ore (Ni) is inversely proportional. This shows that nickel ore (Ni) is not concentrated by MgO with a coefficient of determination (R^2) of 0.2856. The characteristics of the base rock forming laterite nickel, namely the ultramafic element Ni has an average percentage content of 0.28%. Fe has an average percentage of 8.43%. Co has an average percentage of 0.01%. MgO has an average percentage of 28.37%. SiO_2 has an average percentage of 46.87. CaO has an average percentage of 0.2%. Based on petrography analysis, bedrock samples show that the minerals present are dominated by olivine (45%), serpentine (28%), orthopyroxine (22%) and opa (5%). So it can be concluded that the origin rock is peridotite.

Keywords : Geology, MgO, SiO₂, Nickel, Peridotite

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT yang amat mulia dan sempurna, maha agung untuk disembah, menguasai jagat raya beserta isinya serta hidup manusia. Kepada-Nyalah kami memohon berkah dan rahmat serta izin-Nya jualah sehingga penulis dapat menyelesaikan SKRIPSI yang berjudul **“Analisis Korelasi MgO Dan SiO₂ Terhadap Nikel Pada Endapan Nikel Laterit Daerah Ussu Kecamatan Malili Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan”**. Shalawat dan salam atas Nabi Muhammad SAW yang merupakan rasul Allah yang membawa dan membimbing umat manusia dari dunia yang penuh kegelapan ke dalam dunia yang terang benderang dengan cahaya islam.

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

1. Bapak Dr. Eng. Asri Jaya S.T, M.T. sebagai Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Ir. Jamal Rauf Husain, M.T sebagai dosen pembimbing I atas segala bimbingan, saran, dan arahnya mulai dari penentuan judul hingga selama proses pembuatan tugas akhir dan sebagai pembimbing akademik yang banyak mengarahkan dan menuntun penulis.
3. Bapak Dr. Adi Tonggiroh, S.T, M.T sebagai sebagai dosen pembimbing II atas segala bimbingan, saran, dan arahnya mulai dari penentuan judul hingga selama proses pembuatan tugas akhir.

4. Ibu Dr. Ir. Hj. Rohaya Langkoke, M.T sebagai dosen penguji I yang telah banyak memberikan pembelajaran kepada penulis.
5. Bapak Dr. Ir. Musri Mawaleda, M.T sebagai dosen penguji II yang telah banyak memberikan pembelajaran kepada penulis.
6. Seluruh Dosen dan Staf Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang banyak membantu selama berkuliah di Teknik geologi.
7. Kedua orangtua, serta keluarga tercinta yang selalu memberikan dukungan baik moril maupun materil.
8. Teman – teman *JURASSIC'16* yang selalu membantu dan menjadi penyemangat penulis selama mengerjakan skripsi.

Penulis mengharapkan adanya masukan dan kritikan yang lebih banyak dan bersifat membangun demi kesempurnaan dari penulisan laporan ini. Segala kesalahan serta kekeliruan yang ada, tidak luput dari keterbatasan penulis sebagai manusia yang memiliki banyak kekurangan dan kesalahan. Semoga laporan ini dapat bermanfaat baik secara individu maupun secara umum. Aamiin.

Makassar, 3 Juni 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN TUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
SARI	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINAJUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Geologi Regional	5
2.1.1 Geomorfologi Regional.....	5
2.1.2 Stratigrafi Regional	6
2.1.3 Struktur Geologi Regional	9
2.1.4 Sumberdaya Mineral dan Energi.....	13
2.2 Landasan Teori.....	14
2.2.1 Batuan Ultramafik	14
2.2.2 Ofiolit	17

2.2.3 Serpentinisasi	19
2.2.4 Endapan Laterit	20
2.2.5 Profil Laterit	29
2.2.6 Faktor Pengontrol Laterit	32
BAB III METODE PENELITIAN.....	35
3.1 Metode Penelitian.....	35
3.2 Tahapan Penelitian	35
3.3 Metode Analisis Data	36
3.3.1 Analisis Data Pengeboran (<i>coring</i>)	36
3.3.2 Analisis Laboratorium.....	36
3.3.1.1 Analisis Petrografi.....	36
3.3.1.2. Analisis XRF	36
3.3.2 Analisis Diagram <i>line</i>	39
3.4 Penyusunan Laporan	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1. Geologi Daerah Penelitian.....	41
4.1.1 Geomorfologi Daerah Penelitian.....	41
4.1.2 Batuan Ultramafik Daerah Penelitian.....	41
4.1.3 Struktur Geologi Daerah Penelitian	42
4.2. Karakteristik Silika dan magnesia Terhadap Bijih Nikel	44
4.3. Hubungan Silika Dan Magnesia Terhadap Bijih Nikel	58
4.3.1 Hubungan Silika dan Bijih Nikel	58
4.3.2 Hubungan Magnesia dan Bijih Nikel	59
4.3.2 Hubungan Silika dan Magnesia.....	59
4.4. Karakteristik Batuan Dasar Pembentuk Nikel Laterit	59
4.4.1 Karakteristik Kimia	59
4.4.2 Karakteristik Petrografi	61
BAB V PENUTUP	64

5.1 Kesimpulan.....	64
5.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	
Peta Stasiun Pengamatan	
Peta Sebaran Titik Bor	
Peta Geologi	
Tabel Deskripsi Sayatan Tipis	

Daftar Gambar

Gambar 1.1	Peta petunjuk lokasi penelitian	4
Gambar 2.1	Peta geologi regional lembar malili	9
Gambar 2.2	Sifat fisik ofiolit menurut penrose field conference	18
Gambar 2.3	Pembenrukan ofiolit	19
Gambar 2.4	Distribusi vertical mineral yang umum pada penampang nikel laterit	25
Gambar 2.5	Distribusi global deposit nikel laterit, pembagian tipe deposit berdasarkan peta morphoclimatic	26
Gambar 2.6	Clay silicate deposits, Murrin Australia	27
Gambar 2.7	Profil deposite oxida, Goro New Caledonia.....	28
Gambar 2.8	Hydrous silicate deposite.....	29
Gambar 2.9	Tipe laterit	29
Gambar 2.10	Generalisasi profil laterit	31
Gambar 3.1	Proses pengeringan sampel	38
Gambar 3.2	Proses penghancuran sampel	38
Gambar 3.3	Proses pengayakan sampel	38
Gambar 3.5	Diagram alir penelitian	40
Gambar 4.1	Morfologi perbukitan daerah ussu pada stasiun 3 dengan arah N319°E.....	41
Gambar 4.2	Litologi peridotit daerah ussu pada stasiun 1 dengan arah N356°E	42
Gambar 4.3	Kenampakan sayatan tipis <i>bedrock</i> sampel ST01 dengan komposisi mineral terdiri dari olivin (Olx), serpentin (Serp), Orthopiroksin (OrtPx) dan mineral opaq (Opq) dengan perbesaran total 50X	43
Gambar 4.4	Kekar pada batuan peridotit daerah ussu pada stasiun 1 dengan arah N353°E.....	43
Gambar 4.5	Grafik titik bor E1706.....	44
Gambar 4.6	Grafik titik bor E1306.....	45
Gambar 4.7	Grafik titik bor E1510.....	46
Gambar 4.8	Grafik titik bor E1110.....	47

Gambar 4.9	Grafik titik bor E0710.....	48
Gambar 4.10	Grafik titik bor E0310.....	49
Gambar 4.11	Grafik titik bor E0312.....	50
Gambar 4.12	Grafik titik bor E0114.....	51
Gambar 4.13	Grafik titik bor E1615.....	52
Gambar 4.14	Grafik titik bor E0914.....	53
Gambar 4.15	Grafik titik bor E0302.....	54
Gambar 4.16	Grafik titik bor E0106.....	55
Gambar 4.17	Grafik titik bor E0506.....	56
Gambar 4.18	Grafik titik bor E0906.....	57
Gambar 4.19	Kenampakan data permukaan endapan nikel laterit	58
Gambar 4.20	Grafik assay unsur Ni(%), Fe(%), Co(%), MgO(%), SiO ₂ (%), CaO(%) pada lapisan <i>bedrock</i>	60
Gambar 4.21	Kenampakan sayatan tipis <i>bedrock</i> sampel ST01 dengan komposisi mineral terdiri dari olivin (Olx), serpentin (Serp), Orthopiroksin (OrtPx) dan mineral opaq (Opq) dengan perbesaran total 50X	62

Daftar Tabel

Tabel 2.1	Peran beberapa elemen selama pelapukan	21
Tabel 4.1	Hasil analisis titik bor 1706.....	44
Tabel 4.2	Hasil analisis titik bor 1306.....	45
Tabel 4.3	Hasil analisis titik bor 1510.....	46
Tabel 4.4	Hasil analisis titik bor 1110.....	47
Tabel 4.5	Hasil analisis titik bor 0710.....	48
Tabel 4.6	Hasil analisis titik bor 0310.....	49
Tabel 4.7	Geokimia titik bor 0312	50
Tabel 4.8	Geokimia titik bor 0114	51
Tabel 4.9	Hasil analisis titik bor 1615.....	52
Tabel 4.10	Hasil analisis titik bor 0914.....	53
Tabel 4.11	Hasil analisis titik bor 0302.....	54
Tabel 4.12	Hasil analisis titik bor 0106.....	55
Tabel 4.13	Hasil analisis titik bor 0506.....	56
Tabel 4.14	Hasil analisis titik bor 0906.....	57
Tabel 4.15	Data ultramafik.....	61

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan letak geologinya Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumberdaya alam, terutama bahan tambang yang merupakan sumberdaya alam yang tidak dapat diperbaharui. Salah satu contoh sumberdaya 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. Kecerbagunaan 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 (Dalvi, Bacon, dan Osborn, 2004).

Jenis-jenis mineral yang terlapukan dalam batuan tersebut antara lain olivin, piroksin, dan amphibol (Rajesh, 2004). Nikel laterit umumnya ditemukan pada daerah tropis, dikarenakan iklim yang mendukung terjadinya pelapukan, selain topografi, *drainase*, tenaga tektonik, batuan induk, dan struktur geologi (Elias, 2001).

Keberadaan endapan nikel laterit umumnya banyak tersebar pada daerah-daerah seperti di Provinsi Sulawesi Selatan dijumpai pada daerah Soroako Kabupaten Luwu Timur dan Daerah Palakka Kabupaten Barru. Selain itu, endapan nikel laterit juga dijumpai di daerah Sulawesi Tengah yaitu Kabupaten Morowali, Kabupaten Luwuk Banggai dan Provinsi Sulawesi Tenggara (Tonggiroh, 2012).

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 Korelasi MgO Dan SiO₂ Terhadap Nikel Pada Endapan Nikel Laterit Daerah Ussu Kecamatan Malili Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan”.

1.2 Rumusan Masalah

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

- 1 Bagaimana hubungan MgO dan SiO₂ terhadap kadar nikel pada zona limonit dan saprolit

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1 Mengetahui hubungan MgO dan SiO₂ terhadap kadar nikel pada zona limonit dan saprolit.

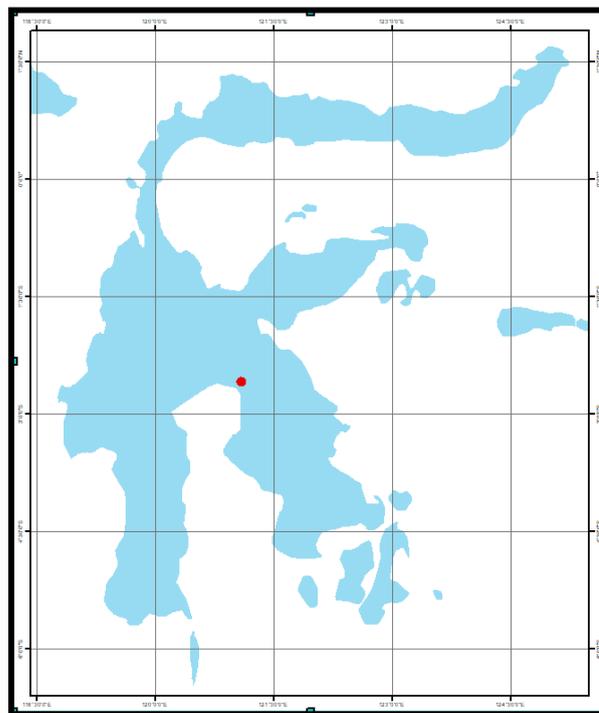
1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan terbatas pada karakteristik batuan *bedrock* dan hubungan MgO dan SiO₂ terhadap bijih nikel pada endapan nikel laterit melalui analisa petrografi batuan dasar dan analisa hasil uji XRF dengan menggunakan metode grafik garis.

1.5 Lokasi dan Waktu Penelitian

Secara administratif daerah penelitian termasuk dalam wilayah Daerah Ussu Kecamatan Malili Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan. Secara astronomis terletak pada koordinat $121^{\circ} 4' 55''$ Bujur Timur sampai $02^{\circ} 34' 35''$ Lintang Selatan dan $121^{\circ} 5' 45''$ Bujur Timur sampai $02^{\circ} 35' 5''$ Lintang Selatan.

Daerah penelitian dapat ditempuh dengan menggunakan kendaraan roda empat maupun roda dua dengan jarak tempuh sejauh kurang lebih 532km dari kampus teknik universitas hasanuddin dengan waktu tempuh 13 jam.



Gambar 1.1 Peta Tunjuk Lokasi Penelitian

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini secara umum sebagai referensi yang berkaitan dengan hubungan MgO dan SiO₂ terhadap keterdapan bijih nikel laterit.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

2.1.1 Geomorfologi Regional

Secara morfologi daerah dalam lembar Malili dapat dibagi atas 4 satuan : Daerah Pegunungan, Daerah Pebukitan, Daerah Karst dan Daerah Pedataran.

Daerah Pegunungan menempati bagian barat dan tenggara lembar Malili. Di bagian barat terdapat 2 rangkaian pegunungan: Pegunungan Tineba dan Pegunungan Koro-Ue yang memanjang dan baratlaut - tenggara, dengan ketinggian antara 700-3016 m di atas permukaan laut dan dibentuk oleh batuan granit dan malihan. Sedangkan di bagian tenggara lembar peta terdapat Pegunungan Verbeek dengan ketinggian antara 800 - 1346 m di atas permukaan laut, dibentuk oleh batuan ultramafik dan batugamping. Puncak-puncaknya antara lain G. Baliase (3016 m), G. Tambake (1838 m), Bulu Nowinokel (1700 m), G. Kaungabu (1760 m), Buhi Taipa (1346 m), Bulu Ladu (1274 m), BuLu Burangga (1032 m) dan Bulu Lingke (1209 m). Sungai-sungai yang mengalir di daerah ini yaitu S. Kataena, S. Pincara, S. Rongkong, S. Larona dan S. Malili merupakan sungai utama. Pola aliran sungai umumnya dendrit.

Daerah Pebukitan menempati bagian tengah dan timur laut lembar Malili dengan ketinggian antara 200 - 700 m di atas permukaan laut dan merupakan pebukitan yang agak landai yang terletak di antara daerah pegunungan dan daerah pedataran. Pebukitan ini dibentuk oleh batuan vulkanik, ultramafik dan batupasir. Puncak-puncak bukit yang terdapat di daerah ini di antaranya Bulu Tiruan ((630

m), Bulu Tambunana (477 m) dan Bulu Bukila (645 m). Sungai-sungai yang bersumber di daerah pegunungan mengalir melewati daerah ini terus ke daerah pedataran dan bermuara di Teluk Bone. Pola alirannya dendrit.

Daerah Karst menempati bagian timurlaut lembar Malili dengan ketinggian antara 800 - 1700 m dari permukaan laut dan dibentuk oleh batugamping. Daerah ini dicirikan oleh adanya dolina, "Sinkhole" dan sungai bawah permukaan. Puncak yang tinggi di daerah ini di antaranya Butu Wasopute (1768 m) dan Pegunungan Toruke Empenai (1185 m).

Daerah Pedataran menempati daerah selatan lembar Malili, melampar mulai dan utara Palopo, Sabbang, Masamba sampai Bone-Bone. Daerah ini mempunyai ketinggian hanya beberapa meter di atas permukaan laut dan dibentuk oleh endapan aluvium. Pada umumnya merupakan daerah pemukiman dan pertanian yang baik. Sungai yang mengalir di daerah ini diantaranya S. Pampengan, S. Rongkong dan S. Kebu, menunjukkan proses berkelok. Terdapatnya pola aliran subdendrit dengan air terjun di beberapa tempat, terutama di daerah pegunungan, aliran sungai yang deras, serta dengan memperhatikan dataran yang agak luas di bagian selatan peta dan adanya perkelokan sungai utama, semuanya menunjukkan morfologi dewasa.

2.1.2 Stratigrafi Regional

Berdasarkan himpunan batuan, struktur dan biostratigrafi, secara regional Lembar Malili termasuk Mendala Geologi Sulawesi Timur dan Mendala Geologi Sulawesi Barat, dengan batas Sesar Palu Koro yang membujur hampir utara-selatan. Mendala Geologi Sulawesi Timur dapat dibagi menjadi dua lajur (Telt): lajur

batuan malihan dan lajur ofiolit Sulawesi Timur yang terdiri dari batuan ultramafik dan batuan sedimen petagos Mesozoikum.

Mendala Geologi Sulawesi Barat dicirikan oleh lajur gunungapi Paleogen dan Neogen, intrusi Neogen dan sedimen flysch Mesozoikum yang diendapkan di pinggiran benua (Paparan Sunda).

Di Mendala Geologi Sulawesi Timur, batuan tertua adalah batuan ofiolit yang terdiri dari ultramafik termasuk harzburgit, dunit, piroksenit, wehrlit dan serpentinit, setempat batuan mafik termasuk gabro dan basal. Umurnya belum dapat dipastikan, tetapi diperkirakan sama dengan ofiolit di lengan timur Sulawesi yang berumur Kapur – Awal Tersier (Simandjuntak, 1986).

Di bagian barat mendala ini terdapat lajur metamorfik, kompleks Pompangeo yang terdiri dari berbagai jenis sekis hijau di antaranya sekis mika, sekis hornblenda, sekis glaukofan, filit, batusabak, batugamping terdaunkan atau pualam dan setempat breksi. Umurnya diduga tidak lebih tua dari Kapur. Di atas ofiolit diendapkan tak selaras Formasi Matano: bagian atas berupa batugamping kalsilitit, rijang radiolaria, argilit dan batulempung napalan, sedangkan bagian bawah terdiri dari rijang radiolaria dengan sisipan kalsilitit yang semakin banyak ke bagian atas. Berdasarkan kandungan fosilnya Formasi ini menunjukkan umur Kapur.

Pada mendala ini dijumpai pula kompleks bawah bancuh (Melange Wasuponda), terdiri dari bongkahan asing batuan mafik, serpentinit, pikrik, rijang, batugamping terdaunkan, sekis, amfibolit dan eklogit (?) berbagai ukuran yang tertanam di dalam masa dasar lempung merah bersisik.

Batuan tektonika ini tersingkap baik di daerah Wasuponda serta di daerah Ensa, Koro Mudi dan Petumbea, diduga terbentuk sebelum Tersier (Simandjuntak, 1980). Pada Kala Miosen Akhir batuan sedimen pasca orogenesis Neogen (Kelompok Molasa Sulawesi) diendapkan tak selaras di atas batuan yang lebih tua. Kelompok ini termasuk Formasi Tomata yang terdiri dari klastika halus sampai kasar, dan Formasi Larona yang umumnya terdiri dari klastika kasar yang diendapkan dalam lingkungan laut dangkal sampai darat. Pengendapan ini terus berlangsung sampai Kala Pliosen.

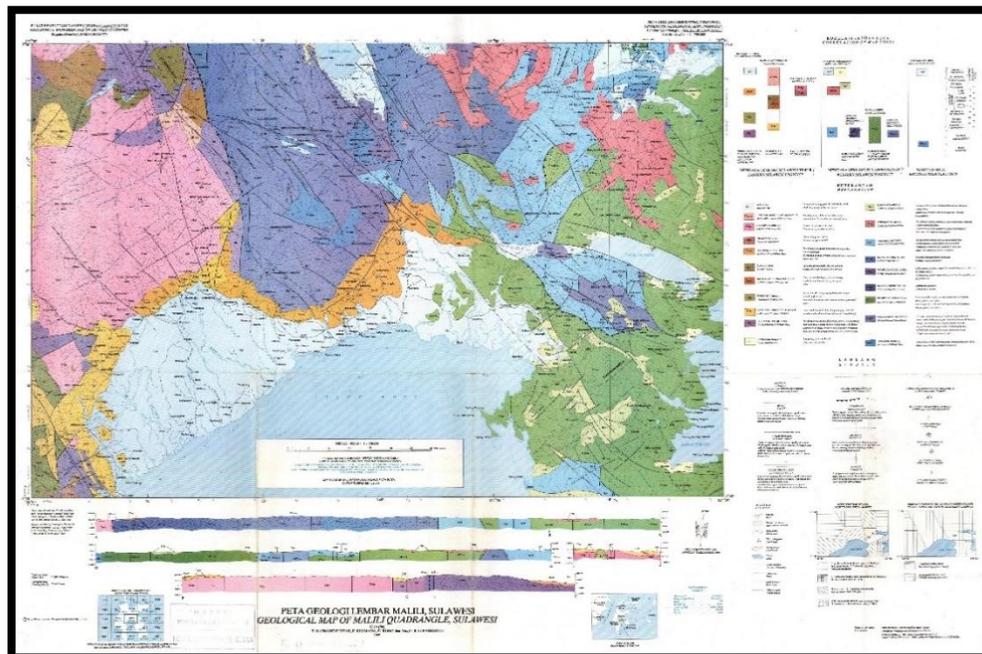
Di Mendala Geologi Sulawesi Barat batuan tertua adalah Formasi Latimojong yang diduga berumur Kapur Akhir. Batuan ini terdiri dari deret flysch, perselingan antara argilit, filit, batusabak dan wake dengan sisipan rijang radiolaria dan konglomerat. Batuan ini diduga telah diendapkan di pinggiran benua Sunda. Tak selaras di atasnya diendapkan Formasi Toraja yang terdiri dari serpih, batugamping, batupasir dan konglomerat. Umurnya berjangka dari Eosen - Miosen Tengah (Djuri dan Sudjarmiko, 1974).

Pada Kala Oligosen terjadi kegiatan gunungapi bawah laut yang menghasilkan lava bantal dan breksi yang bersusunan basa sampai menengah. Batuan itu membentuk Batuan Gunungapi Lamasi. Kegiatan ini berlangsung terus sampai Kala Miosen Tengah (Batuan Gunungapi Tineba dan Tufa Rampi), yang sebagian sudah muncul ke atas permukaan laut.

Di atasnya secara tak selaras diendapkan Formasi Bone-bone yang terdiri dari endapan turbidit dan perselingan antara konglomerat dan klastika halus. Formasi ini banyak mengandung fosil foram kecil yang menunjukkan umur Miosen

Akhir - Pliosen. Kegiatan gunungapi terjadi lagi pada Plio-Plistosen bahkan sampai Holosen yang menghasilkan lava dan bahan piroklastika yang bersusunan andesit (Batuan Gunungapi Masamba).

Terdapat dua bauan terobosan granit yang berbeda umurnya; yang pertama berumur Miosen Akhir dan yang kedua Pliosen. Yang terakhir lamparannya cukup luas di bagian barat laut lembar peta. Di daerah Palopo granit berumur Miosen Akhir menerobos Formasi Latimojong dan Formasi Toraja dan menghasilkan mineralisasi hidrotermal. Batuan termuda di daerah ini adalah aluvium yang terdiri dari endapan sungai, danau dan pantai. Sebarannya luas di utara Teluk Bone dan di selatan Danau Poso.



Gambar 2.1 Peta Geologi Regional Lembar Malili(Bakosurtanal, 1991)

2.1.3 Struktur Regional

Struktur dan geologi Lembar Malili memperlihatkan ciri Komplek tubrukan dan pinggiran benua yang aktif. Berdasarkan struktur, himpunan batuan,

biostratigrafi dan umur, daerah ini dapat dibagi menjadi 2 domain yang sangat berbeda, yakni : 1) allohton: ofiolit dan malihan, dan 2) autohton: batuan gunungapi dan pluton Tersier dan pinggiran benua Sundaland, serta kelompok molasa Sulawesi. Lembar Malili, 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 penting di daerah ini adalah sesar lipatan, selain itu terdapat kekar dan perdaunan. Secara umum kelurusan sesar berarah barat laut-tenggara. Yang terdapat di daerah ini berupa sesar naik, sesar sungkup, sesar geser dan sesar turun, yang diperkirakan sudah mulai terbentuk sejak Mesozoikum. Beberapa sesar utama tampaknya aktif kembali. Sesar Matano dan sesar Palu-Koro merupakan sesar utama berarah barat laut-tenggara, dan menunjukkan gerak mengiri. Diduga kedua sesar itu masih aktif sampai sekarang, keduanya bersatu di bagian barat laut Lembar. Diduga pula kedua sesar tersebut terbentuk sejak Oligosen, dan bersambungan dengan sesar Sorong sehingga merupakan satu sistem sesar “transform”. Sesar lain yang lebih kecil berupa tingkat pertama dan/atau kedua yang terbentuk bersamaan atau setelah sesar utama tersebut. Dengan demikian sesar-sesar ini dapat dinamakan Sistem Sesar Matano-Palu-Koro.

Lipatan yang terdapat di daerah ini dapat digolongkan dalam lipatan lemah, lipatan tertutup dan lipatan tumpang tindih. Pada yang pertama kemiringan lapisannya landai biasanya tidak melebihi 3° yang dapat digolongkan dalam jenis lipatan terbuka. Lipatan ini berkembang dalam batuan yang berumur Miosen hingga Plistosen; biasanya sumbu lipatannya bergelombang dan berarah baratdaya-

timurlaut. Pada yang kedua, baik yang simetris maupun yang tidak, kemiringan lapisannya antara 500 dan tegak, ada juga yang terbalik. Lipatan ini biasanya terdapat dalam batuan sedimen Mesozoikum. Sumbu lipatan pada umumnya berarah utara-selatan, mungkin golongan ini terbentuk pada Kala Oligosen atau lebih tua.

Adapun yang ketiga berkembang dalam batuan sedimen Mesozoikum, batuan malihan dan di beberapa tempat dalam serpentinit yang terdaunkan. Lipatan dalam batuan sedimen Mesozoikum berimpit dan/atau memotong lipatan terdahulu, sehingga ada sumbu lipatan pertama (f1) yang berimpit dengan yang kemudian (f2), di samping f1 terpotong oleh f2. Lipatan kedua (f2) ini diperkirakan terbentuk pada Miosen Tengah. Kedua lipatan ini tampaknya mengalami deformasi lagi pada Plioplistosen, dan membentuk lipatan fasa ketiga (f3) dengan sumbu lipatan yang berarah baratlaut-tenggara, sama dengan lipatan pada batuan sedimen muda. Jenis lipatan ini dalam ukuran megaskopis berkembang dataran batuan malihan dan serpentinit yang terdaunkan.

Kekar terdapat dalam hampir semua jenis batuan dan tampaknya terjadi dalam beberapa perioda. Pola dan arah kekar ini sesuai dengan jenisnya, ac; b atau diagonal. Perkembangan tektonik dan sejarah pengendapan batuan sedimen di daerah ini tampaknya sangat erat hubungannya dengan perkembangan Mendala Banggai-Sula yang sudah terkeratonkan pada akhir Paleozoikum.

Pada Zaman Trias Formasi Tokala diendapkan di datam paparan tepi lereng benua. Pada akhir Trias terjadi pemekaran pinggiran benua yang kemudian disusul pengendapan Formasi Batebeta secara selaras di atasnya pada awal Jura.

Pada Zaman Jura Formasi Nanaka diendapkan secara tidak selaras di atas batuan yang lebih tua, dalam lingkungan darat hingga laut dangkal. Di bagian neritik luar diendapkan Formasi Tetambahu dan Formasi Masiku pada akhir Jura hingga permulaan Kapur. Ketiga satuan ini terbentuk di pinggiran benua yang saat ini menjadi Mendala Banggai-Sula. Semuanya tersingkap di Lembar Bungku (Simandjuntak drr., 1981) di sebelah timur lembar ini.

Pada Zaman Kapur, dibagian lain dalam cekungan laut dalam di sebelah barat terjadi pemekaran dasar samudera, dan membentuk kerak samudera yang sebagian menjadi Lajur Ofiolit Sulawesi Timur. Pengendapan bahan-bahan pelagos di atas kerak samudera ini berlangsung hingga Zaman Kapur Akhir (Formasi Matano).

Pada Zaman Kapur Akhir, lempeng samudera yang bergerak ke arah barat menunjam di bawah pinggiran benua dan/atau di daerah busur gunungapi. Jalur penunjaman ini sekarang ditandai oleh batuan bancuh di Wasuponda (Simandjuntak, 1980). Di cekungan rumpang parit busur di pinggiran yang aktif di sebelah barat, diendapkan batuan sedimen jenis "flysch, Formasi Latimojong pada Kapur Atas. Pengendapan batuan ini disusul oleh Formasi Toraja pada Kala Eosen dan kegiatan gunungapi bawah laut pada Kala Oligosen (Vulkanik Lamasi) yang berlangsung terus hingga Mioscn (Vulkanik Rampi dan Tineba). Satuan batuan ini sekarang merupakan bagian dan Mendala Sulawesi Barat.

Pada Zaman Paleogen pengendapan batuan karbonat (Formasi Larca) berlangsung dalam busur laut yang semakin mendangkal, yang disusul pengendapan Formasi Takaluku pada Kala Miosen Tengah.

Pada Kala Oligosen, sesar Sorong yang menerus ke sesar Matano dan Palu-Koro mulai aktif dalam bentuk sesar transcurrent. Akibatnya minikontinen Banggai-Sula bergerak ke arah barat dan memisahkan diri dari benua Australia.

Pada Kala Miosen Tengah bagian timur kerak samudera di Mendala Sulawesi Timur menumpang tindih (obducted) platform Banggai-Sula yang bergerak ke arah barat. Dalam pada itu, di bagian barat lajur penunjaman dan busur luar tersesarsungkupkan di atas rumpang parit busur dan busur gunungapi, dan mengakibatkan ketiga mendala geologi tersebut saling berhimpitan.

Pada Akhir Miosen hingga Pliosen, batuan klastika halus sampai kasar Kelompok Molasa Sulawesi (Formasi Tomata, Bone-Bone) diendapkan dalam lingkungan taut dangkal dan terbuka dan sebagian berupa endapan darat yang bersamaan dengan intrusi yang bersifat granit di bagian barat.

Pada Kala Plio-Plistosen keseluruhan daerah mengalami deformasi. Intrusi yang bersifat granit menerus di Mendala Sulawesi Barat, yang dibarengi oleh perlipatan dan penyesaran bongkah yang mengakibatkan terbentuknya berbagai cekungan kecil, dangkal dan sebagian tertutup. Di dalamnya diendapkan batuan klastika kasar dan keseluruhan daerah terangkat. Pada bagian tertentu, endapan aluvium, danau, sungai dan pantai berlangsung terus hingga sekarang.

2.1.4 Sumber Daya Mineral dan Energi

Bahan galian yang terdapat di lembar Malili di antaranya nikel, bijih besi, kromit, emas, batugamping, granit, basal, andesit, batubara, pasir dan kerikil Bijih nikel pada saat ini sedang ditambang oleh PT. Inco di daerah Soroako. Bijih tersebut biasanya terdapat dalam endapan laterit berasal dari batuan ultramafik yang

melapuk. Di samping itu bijih besi yang potensial terdapat pada bagian atasnya (sebagai penudung) yang biasanya berupa daerah-daerah datar (PT Inco, 1972, Sukamto, 1975).

Kromit dijumpai sebagai endapan primer dan sekunder yang pertama berupa lensa, lapisan tipis, bentuk pod atau sebagai butiran yang menyebar dalam batuan ultramafik dan erat hubungannya dengan harzburgit dan dunit yang telah terserpentinkan (Sophaheluwakan dan Suparka, 1978). Kromit sekunder tipe sedimenter terdapat sebagai komponen dalam konglomerat. Endapan tersebut terdapat di sekitar Karebe dan S. Larona, sebelah baratdaya Malili.

Emas tipe sedimenter (placer deposit) terdapat di S. Lamasi, daerah Palopo, diusahakan oleh penduduk dengan cara mendulang.

Batubara dan lignit tidak banyak terdapat, berupa lensa-lensa dalam Formasi Toraja dan Formasi Tomata.

Batugamping pejal terdapat di bagian selatan D. Matano, sebagian sudah dimanfaatkan oleh PT. Inco untuk bahan bangunan. Pualam terdapat di daerah pegunungan Baliase.

Granit, basal dan andesit terdapat mulai dari Palopo hingga Sabbang dan Masamba, bisa dimanfaatkan untuk bahan bangunan dan pengeras jalan. Pasir dan kerikil terdapat di daerah aluvium, sangat halus, di utara Teluk Bone.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Batuan Ultramafik

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. Serpentin

Serpentin 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). Serpentin dapat dihasilkan dari mantel oleh hidrasi

dari mantel ultramafik (mantel peridotit dan dunit). Dibawah pegunungan tengah samudera (*mid Oceanic Ridge*) pada temperatur <500°C.

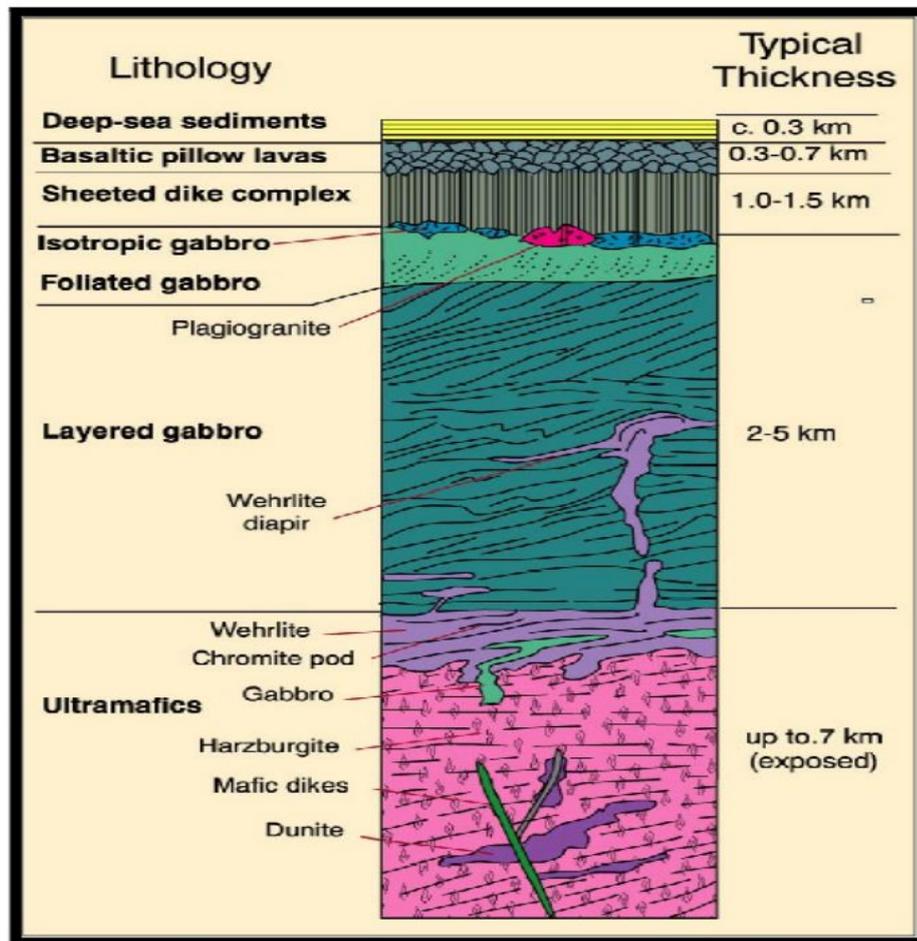
2.2.2 Ofiolit

Ofiolit merupakan kompleks batuan dengan berbagai karakteristik dari layer ultramafik, dengan ketebalan dari beberapa ratus meter sampai beberapa kilometer bersusun atau berlapis dengan batuan gabro dan batuan *dolerite*, dan pada bagian atanya tersusun oleh *pillow* lava dan breksi, sering berasosiasi dengan batuan sediment pelagik (Ringwood, 1975). Sedangkan menurut Hutchison (1983), ofiolit merupakan kumpulan khusus dari batuan mafik-ultramafik dengan batuan beku sedikit kaya asam sodium dan khas berasosiasi dengan batuan sediment laut dalam.

Definisi ofiolit menurut Penrose Field Conference, (1972) adalah sekelompok batuan yang berkomposisi mafik sampai ultramafik yang sekuennya dari bawah ke atas, yaitu :

1. Kompleks ultramafik (peridotit termetamorfik), terdiri dari lherzolit, hazburgit dan dunit. Umumnya batuan memperlihatkan struktur tektonik metamorfik (banyak atau sedikit terserpentinisasi).
2. Kompleks gabro berlapis dan gabro massif. Gabro memiliki tekstur cumulus (mencakup peridotit cumulus serta piroksenit). Komplek gabro biasanya sedikit terdeformasi dibandingkan dengan kompleks ultramafik.
3. Kompleks retas berkomposisi mafik (diabas).

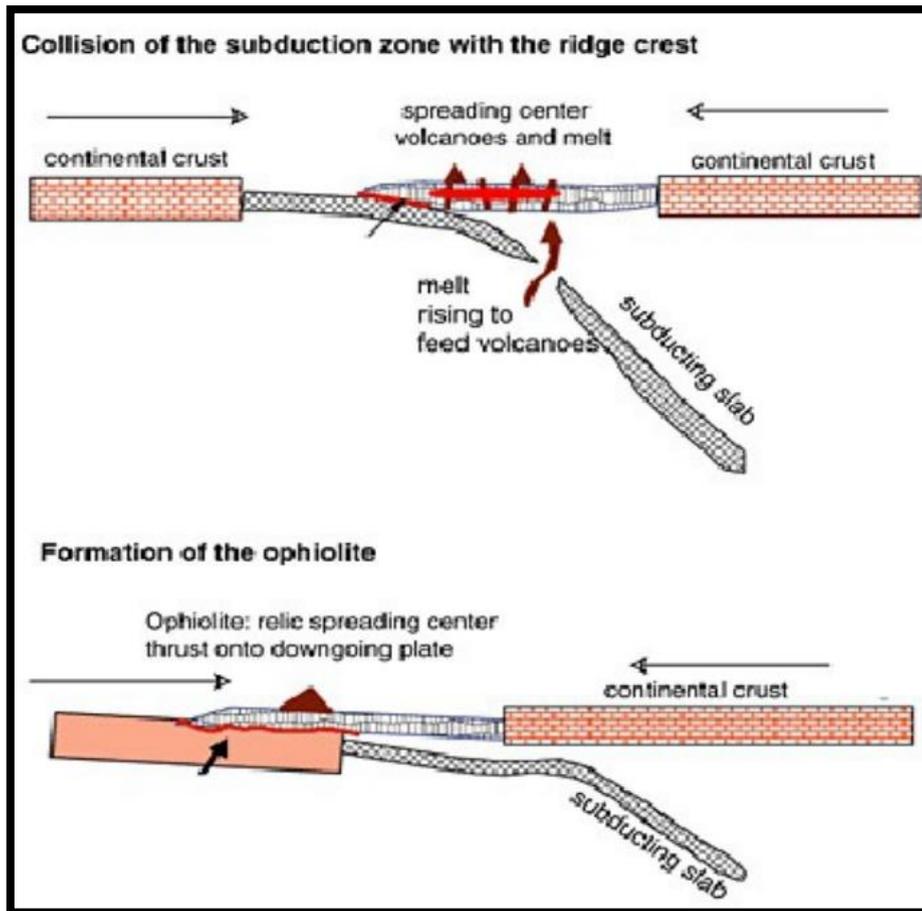
Secara ideal penampang ofiolit ditunjukkan dalam gambar 2.2 yang memperlihatkan susunan litologi penyusun ofiolit



Gambar 2.2 Sifat fisik ofiolit menurut **Penrose Field Conference, 1972**

Secara litostratigrafi, ofiolit merupakan sekelompok batuan yang berkomposisi mafik sampai ultramafik dengan sekuen dari bawah ke atas, disusun oleh: kompleks ultramafik, kompleks gabro berlapis dan gabro massif, kompleks retas berkomposisi mafik (diabas) dan kelompok batuan vulkanik berkomposisi mafik bertekstur bantal / basalt (Penrose Field Conference, 1972).

Berikut ditunjukkan diagram pembentukan ofiolit pada *subduction zone* dengan pematang kerak (*ridge crust*) pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pembentukan Ofiolit (**Penrose Field Conference, 1972**)

2.2.3 Serpentinisasi

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

Menurut Ahmad (2006) ada beberapa hal terjadinya proses serpentinisasi adalah adanya penambahan air, adanya pelarutan magnesia (atau penambahan silika), adanya pelepasan besi dalam olivin (Fe, Mg), konversi besi yang lepas dari ikatan ferro (Fe^{2+}) menjadi ferri (Fe^{3+}) untuk membentuk magnetit berbutir halus. Akibatnya batuan terserpentinisasi umumnya akan menjadi lebih magnetik. Peran

atau kemunculan mineral serpentin pada batuan dasar penghasil laterit terkadang memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap karakterisasi tanah laterit yang ada.

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

2.2.4 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, 2013)

Laterit menurut Evans (1993) adalah produk sisa dari pelapukan kimia batuan beku ultrabasa berupa dunit, peridotit, harzburgit dan batuan ultrabasa lainnya di permukaan bumi, dimana berbagai mineral asli atau primer mengalami ketidakstabilan karena adanya air kemudian larut atau pecah dan membentuk mineral baru yang lebih stabil. Laterit penting sebagai induk untuk endapan bijih

ekonomis. Contoh terkenal dari endapan bijih laterit yaitu bauksit dan endapan bijih besi.

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 *oxided* 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, 2013).

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

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

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

<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.

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 lembab, serta membentuk konsentrasi endapan hasil pengayaan proses laterisasi pada unsur Fe, Cr, Al, Ni, dan Co.

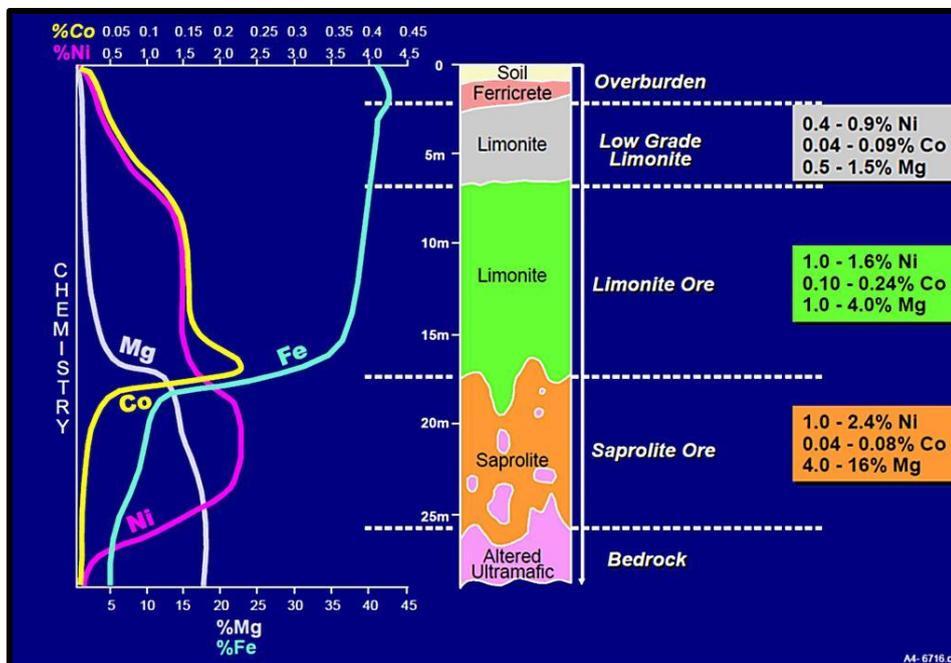
Air permukaan yang mengandung CO₂ dari atmosfer dan terkayakan kembali oleh material-material organik di permukaan meresap ke bawah permukaan tanah sampai pada zona pelindian (*leaching zone*), tempat terjadinya fluktuasi air tanah berlangsung. Akibat fluktuasi ini, air tanah yang kaya CO₂ akan

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 $[(\text{Ni},\text{Mg})_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$ 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 saprolit (*saprolite zone*).

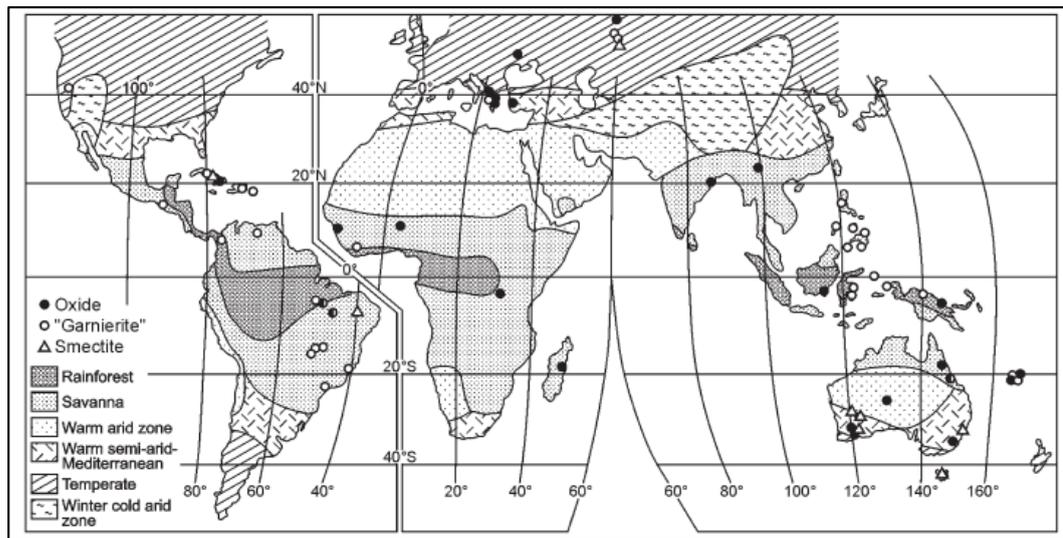
Dalam satu penampang vertikal profil laterit dapat juga terbentuk zona pengayaan yang lebih dari satu, hal tersebut dapat terjadi karena muka air tanah yang selalu berubah-ubah, terutama bergantung dari perubahan musim. Di bawah zona pengayaan supergen terdapat zona mineralisasi primer yang tidak terpengaruh oleh proses oksidasi maupun pelindihan, yang sering disebut sebagai zona batuan dasar (*bedrock*) (Maulana, 2017).



Gambar 2.4 Distribusi vertikal mineral yang umum pada penampang nikel laterit (Elias, 2002)

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).

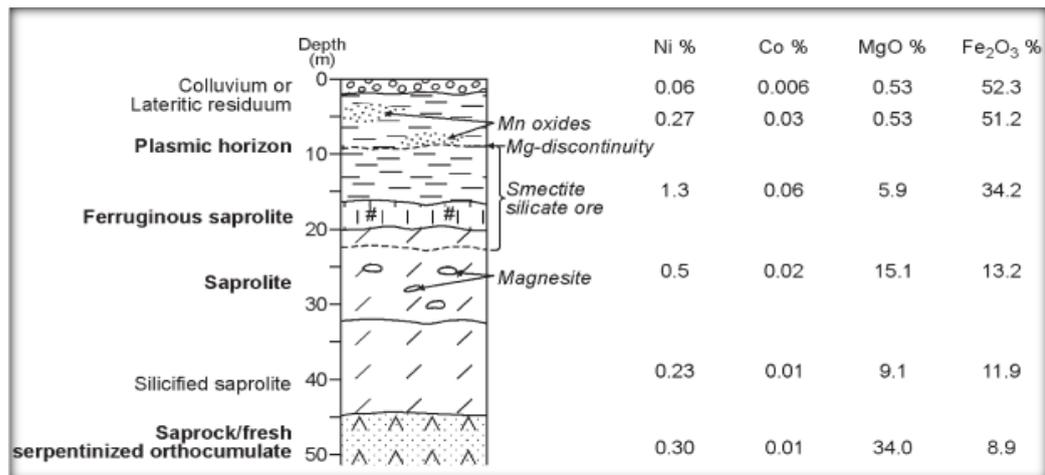


Gambar 2.5 Distribusi global deposit nikel laterit, pembagian tipe deposit berdasarkan peta morphoclimatic (modifikasi **Budel** dalam **Butt dan Morris 2005**)

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 deposite 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.

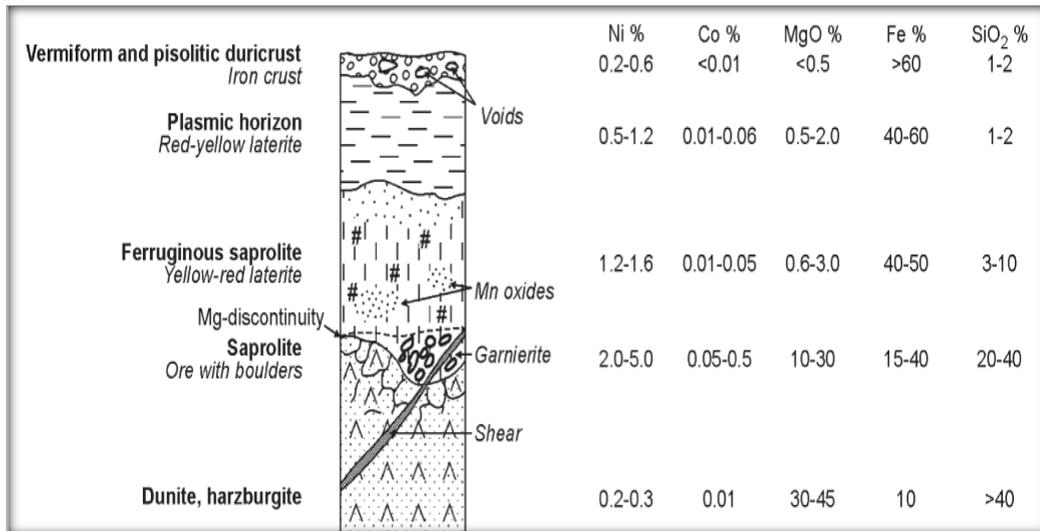


Gambar 2.6 Clay silicate deposit, Murrin Australia (Butt dan Morris, 2005)

B. Oxides Deposit

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, Mg²⁺-nya benar-benar tercuci dan hilang karena air tanah, dan Si sebagian besar tercuci dan dibuang. Fe²⁺ 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

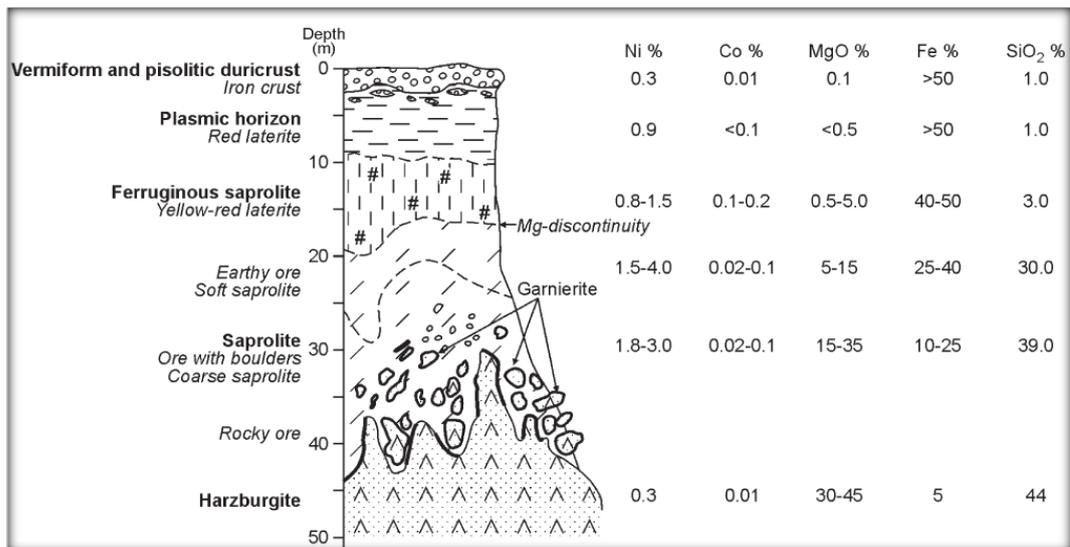
pemadatan yang menghasilkan *goethite* dengan tekstur masif. Transformasi mineralogi yang melibatkan hilangnya Mg dan konsentrasi residu Fe menghasilkan tren kimia yang jelas dan familiar pada laterit Mg yang menurun ke atas dan Fe meningkat ke atas melalui profil laterit. (**Butt dan Morris, 2005**).



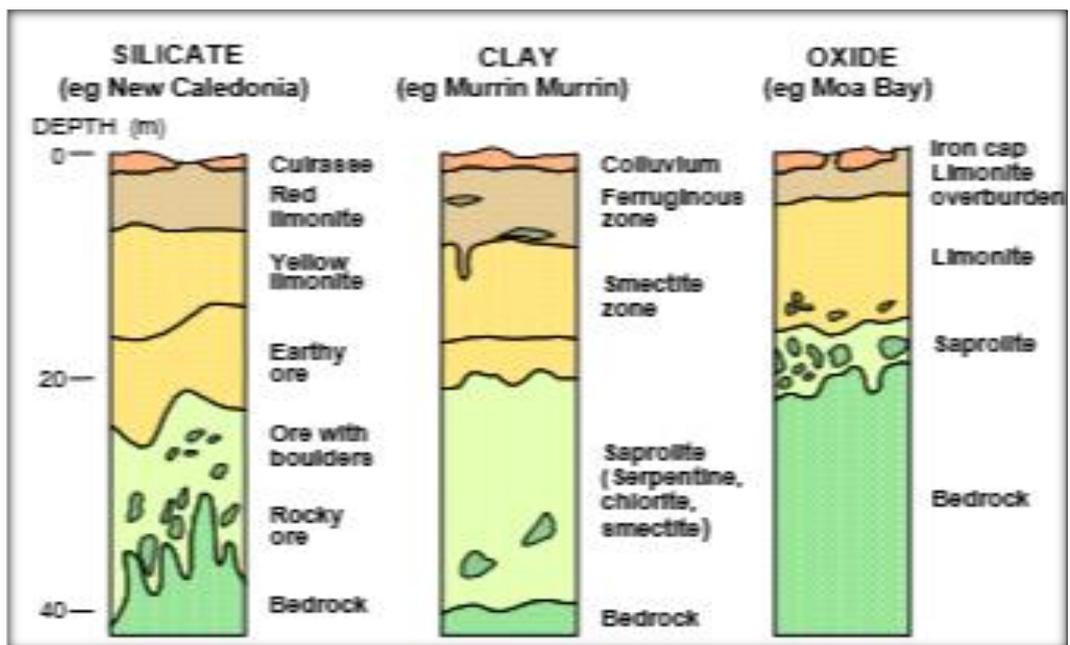
Gambar 2.7 Profil laterit deposit oksida, Goro New Caledonia (**Butt dan Morris, 2005**)

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 2.8 Hydrous silicate deposit, New Caledonia (Troly, dkk,1979)



Gambar 2.9 Tipe laterit (Elias, 2005)

2.2.5 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 (lempung-lanau), sering dijumpai mineral stabil seperti spinel, magnetit dan kromit.

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 serpentinit 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, serpentinit, 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 2.10 Generalisasi profil laterit (Elias,2002)

2.2.6 Faktor Pengontrol Laterit

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

a) Iklim

Iklim memiliki peran penting dalam terbentuknya endapan laterit. Temperatur yang hangat dan curah hujan yang tinggi dan ditambah dengan aktivitas biogenik yang tinggi akan mempercepat proses pelapukan kimia. Daerah beriklim tropis dengan temperatur lebih dari 20°C yang cenderung tetap sepanjang tahun merupakan daerah yang sangat ideal untuk pembentukan endapan laterit (Ahmad, 2006). Menurut Ellias (2005) curah hujan menentukan jumlah air yang melewati tanah, sehingga mempengaruhi intensitas pencucian. Sebenarnya tingkat curah

hujan dapat bervariasi yang nantinya akan membentuk tanah laterit yang berbeda-beda pula

b) Topografi

Topografi akan mempengaruhi pola aliran air. Kelerengan dan relief mempengaruhi intensitas air yang masuk ke dalam tanah atau batuan dan muka air tanah (Elias, 2005). Topografi / morfologi yang tidak curam tingkat kelerengannya, maka endapan laterit masih mampu untuk ditopang oleh permukaan topografi sehingga tidak terangkut semua oleh proses erosi ataupun ketidakstabilan lereng (Maulana, 2013). Menurut (Ahmad, 2008) 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.

c) PH

Menurut (Ahmad, 2008) 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.

d) 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 dan memperlambat gerak air tanah (Elias, 2005)

e) Struktur

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

f) Batuan Asal

Laterit Ni – Fe 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