

SKRIPSI

**“STUDI GEOKIMIA DAN PETROGRAFI BATUAN ULTRAMAFIK DAN
IMPLIKASINYA TERHADAP PENYEBARAN UNSUR PADA LATERIT
BLOK “X” PT. CERIA NUGRAHA INDOTAMA DAERAH BABARINA
KABUPATEN KOLAKA PROVINSI SULAWESI TENGGARA”**

Disusun dan diajukan oleh:

**ZULFADLY HAMZAH
D061171504**



**DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**“STUDI GEOKIMIA DAN PETROGRAFI BATUAN ULTRAMAFIK DAN
IMPLIKASINYA TERHADAP PENYEBARAN UNSUR PADA LATERIT
BLOK “X” PT. CERIA NUGRAHA INDOTAMA DAERAH BABARINA
KABUPATEN KOLAKA PROVINSI SULAWESI TENGGARA”**

Disusun dan diajukan oleh

ZULFADLY HAMZAH

D061171504

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada Tanggal 02 Februari 2022 Dan dinyatakan telah menenuhi syarat kelulusan

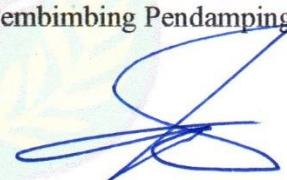
Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping


Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T

Nip. 197006061994122001


Dr.Eng. Asri Jaya, HS, S.T.,M.T

NIP. 196909241998021 001



Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin,


Dr.Eng. Asri Jaya, HS, S.T.,M.T

Nip. 196909241998021 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Zulfadly Hamzah
NIM : D061171504
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : SI

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Studi Geokimia Dan Petrografi batuan Ultramafik Dan Implikasinya Terhadap Penyebaran Unsur Pada Laterit Blok "X" PT. Ceria Nugraha Indotama Daerah Babarina Kabupaten Kolaka Provinsi Sulawesi Tenggara

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

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa sebagian atau keseluruhan Sripsi ini karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 02 february 2022

Yang Menyatakan



Zulfadly Hamzah

SARI

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peran batuan ultramafik terhadap penyebaran unsur-unsur pada endapan Laterit di blok "X" Sulawesi Tenggara, Pulau Sulawesi, Indonesia. Sampel diperoleh dari data *Coring* pengeboran dan *Chipping* pada *outcrop* dan dilakukan analisis mineralogi secara petrografi serta analisis geokimia secara *Xray Fluorescence*. Analisis Petrografi terhadap 12 sampel batuan dasar untuk mengetahui komposisi mineral, dan tekstur batuan kemudian dikorelasikan dengan sebaran unsur geokimia dari metode *X-ray fluorescence* pada 60 *hole* di setiap zona laterit untuk melihat populasi mobilitas unsur secara umum kemudian pada tiap *hole* dengan jenis batuan ultramafik dilakukan perbandingan data geokimia pada masing-masing jenis *bedrock* pada 12 *hole*. Pada pengamatan petrografi 12 Sampel batuan didapatkan bahwa jenis batuan Ultramafik di daerah penelitian terdiri dari peridotit dan dunit, batuan peridotit daerah penelitian terbagi atas 6 yaitu Lherzolite, Lherzolite terserpentinisasi, Webstrite, Webstrite terserpentinisasi, dan Olivin Webstritee. Sebaran unsur pada daerah penelitian menunjukkan bahwa unsur Fe dan Al_2O_3 diperkaya di zona limonit dan semakin kebawah semakin menurun menunjukkan unsur tersebut tidak mobile (*Immobile*), unsur Ni diikuti oleh Mn dan Co diperkaya pada zona saprolit dan semakin menurun kadarnya semakin kebawah, pada batuan dasar terkayakan unsur SiO_2 dan MgO merupakan unsur penyusun batuan dan *highly mobile*, pada batuan asal dengan jenis Dunit memiliki rata-rata unsur Ni tertinggi dengan nilai Ni mencapai 1,4% pada zona Saprolit sedangkan kandungan Fe tertinggi terdapat pada zona limonit dengan batuan asal Lherzolite dengan kandungan Fe 43.67%.

Kata kunci: Ni-laterit, serpentinisasi, petrografi, geokimia, *Bedrock*, peridotit, dunit

ABSTRACT

The study aims to analyze the role of ultramafic rocks against the spread of elements in Laterite deposits in the "X" block of Southeast Sulawesi, Sulawesi Island, Indonesia. The samples were obtained from Coring drilling and Chipping data on outcrop and petrographic mineralogical analysis and geochemical analysis by X-ray Fluorescence. Petrography's analyses of 12 bedrock samples to determine mineral composition, and rock texture were then correlated with the distribution of geochemical elements from the X-ray fluorescence method at 60 holes in each laterite zone to see the general population of elemental mobility then in each hole with ultramafic rock types, geochemical data comparison was done in each type of bedrock in 12 holes. In the observation of petrography 12 rock samples found that ultramafic rock types in the research area consist of peridotite and dunite, peridotite rock research area divided into 6 namely Lherzolite, Lherzolite terrpentinisasi, Webstrite, Webstrite terrpentinisasi, and Olivin Webstritee. The distribution of elements in the research area shows that the elements Fe and Al₂O₃ are enriched in the limonite zone and the lower the decrease shows that the element is Immobile, the element Ni followed by Mn and Co is enriched in the saprolite zone and the lower the level, in bedrock dominant elements SiO₂ and MgO is a building element of rocks and highly mobile, In the original rock with dunite type has the highest average Ni element with Ni value reaching 1.4% in the Saprolite zone while the highest Fe content is in the limonite zone with lherzolite origin rock with a Fe content of 43.67%.

Keywords: Ni-laterite, serpentinization, mineralogy, geochemistry, bedrock, peridotite, dunite

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya lah sehingga penulis dapat menyelesaikan SKRIPSI yang berjudul “Studi Geokimia Dan Petrografi batuan Ultramafik Dan Implikasinya Terhadap Penyebaran Unsur Pada Laterit Blok “X” Pt. Ceria Nugraha Indotama Daerah Babarina Kabupaten Kolaka 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 skripsi ini, antara lain :

1. Bapak Dr. Eng. Asri Jaya, S.T, M.T sebagai pembimbing dan ketua Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Ibu Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T. sebagai pembimbing yang telah membimbing selama masa perkuliahan dan Pembuatan Laporan ini.
3. Bapak Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T sebagai penguji yang telah banyak memberikan yang telah memberikan arahan, masukan, kritik dan saran kepada penulis untuk kesempurnaan skripsi ini.
4. Ibu Dr.Eng Meutia Farida, S.T., M.T sebagai penguji yang telah banyak memberikan yang telah memberikan arahan, masukan, kritik dan saran kepada penulis untuk kesempurnaan skripsi ini.
5. Bapak dan Ibu dosen Pada Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin atas segala bimbingan, bantuan dan nasehatnya.
6. Seluruh Staf Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin yang selama ini selalu membantu dalam pengurusan administrasi dan kebutuhan dalam

penelitian ini

7. Kedua Orang Tua atas dukungannya baik moril maupun materil serta doa
8. PT. Ceria Nugraha Indotama yang telah memberikan kesempatan Magang.
9. Bapak Herriadi Wachyudin sebagai pembimbing Magang di PT. Ceria Nugraha Indotama yang telah membimbing selama masa magang.
10. Bapak Rivaldi Octavianus H. sebagai pembimbing Magang di PT. Ceria Nugraha Indotama yang telah membimbing selama masa magang.
11. Bapak Ariwansyah amal sebagai pembimbing Magang di PT. Ceria Nugraha Indotama yang telah membimbing selama masa magang.
12. Muhammad Hasrul sebagai pembimbing Magang di PT. Ceria Nugraha Indotama yang telah membimbing selama masa magang.
13. Rekan-rekan di PT. Ceria Nugraha Indotama yang telah banyak membantu selama pembuatan Skripsi ini
14. Kedua Orang Tua atas dukungannya baik moril maupun materil serta doa restu yang senantiasa terucapkan tiada henti yang kemudian menjadi sumber semangat bagi penulis selama ini.

Akhir kata penulis mohon maaf kepada semua pihak apabila terdapat kesalahan kata dalam Skripsi ini dan semoga Skripsi ini dapat berguna bagi semua pihak yang menggunakannya. Amin.

Makassar, 2 Februari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
SARI	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
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	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Lokasi Penelitian dan Kesampaian Daerah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Geologi Regional	5
2.1.1 Geomorfologi	5
2.1.2 Stratigrafi	6
2.1.3 Struktur Geologi	8
2.2 Landasan Teori	10
2.2.1 batuan Ultramafik	10
2.2.2 Serpentinisasi	16
2.2.3 Endapan Laterit	19
2.2.4 Profil Laterit	27
2.2.5 Faktor Pengontrol Laterit.....	31
2.2.6 Penyebaran Horisontal Endapan Ni-Laterit	33

BAB III METODE DAN TAHAP PENELITIAN.....	34
3.1 Tahap Pendahuluan	34
3.2 Tahap Pengambilan Contoh	34
3.2.1 Drilling	34
3.2.2 Testpit	35
3.2.3 Mapping	36
3.3 Analisis Laboratorium.....	37
3.3.1 Analisis Petrografi	38
3.2.2 Analisis Geokimia	38
3.4 Tahap Pengolahan Data.....	39
3.5 Tahap Penyusunan Laporan	40
BAB IV	42
4.1 Petrografi Daerah Penelitian	42
4.1.1 Peridotit	42
4.1.2 Dunit	55
4.2 Karakteristik Geokimia Endapan Laterit	57
4.2.1 Profil Laterit Daerah Penelitian	57
4.2.2 Pengaruh <i>bedrock</i> terhadap <i>Mobilitas</i> unsur pada profil laterit	62
4.2.3 Pengaruh <i>Bedrock</i> terhadap penyebaran unsur	76
BAB V PENUTUP.....	82
5.1 Kesimpulan	82
5.2 Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	85

LAMPIRAN

DESKRIPSI PETROGRAFI
PETA SEBARAN UNSUR Ni

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2. 1 Korelasi Satuan Lembar Lasusua Kendari (Simandjutak dkk, 1993).....	8
Gambar 2. 2 Daerah Penelitian dalam Sebagian Peta Geologi Lembar Lasusua Kendari (Simandjutak dkk, 1993).....	10
Gambar 2. 3 Klasifikasi IUSGS batuan Ultrabasa Streckeisen (1976) dalam (Ahmad, 2006).....	12
Gambar 2. 4 Distribusi vertikal mineral yang umum pada penampang nikel laterit.....	24
Gambar 2. 5 Clay silicate deposit, Murrin Australia (Butt dan Morris, 2005).....	25
Gambar 2. 6 Profil laterit deposit oxida, Goro New Caledonia (Butt dan Morris,2005).....	26
Gambar 2. 7 Hidrous Silica Deposite secara umum (Butt dan Morris, 2005).....	27
Gambar 2. 8 Profil laterit secara umum.....	30
Gambar 2. 9 Kenampakan di lapangan Profil Laterit pada New Calcodonia yang mirip dengan profil laterit di Pulau Sulawesi (Morgan, 2011).....	30
Gambar 2. 10 Penampang tegak endapan nikel laterit (Boldt,1967).....	33
Gambar 3. 1 Kegiatan Drilling.....	35
Gambar 3. 2 Kegiatan Testpit.....	36
Gambar 3. 3 Mapping.....	37
Gambar 3. 4 Analisis XRF.....	39
Gambar 3. 5 Diagram Alur Penelitian.....	41
Gambar 4. 1 Outcrop Peridotit Diambil dengan Arah Foto N 201 E Pada Stasiun ZH 5001.....	43
Gambar 4. 2 Kenampakan Petrografis Lherzolit dengan Nomor sayatan ZH5001perbesaran 50x.....	44
Gambar 4. 3 Peridotit Terserpentinisasi difoto dengan Arah N104°E pada stasiun ZT01.....	45

Gambar 4. 4 Petrografis Lherzolite Terserpentinisasi dengan nomor sayatan ZT001	47
Gambar 4. 5 Peridotit Pada Stasiun ZH007 difoto dengan arah N109°E	48
Gambar 4. 6 Kenampakan Petrografis Webstrite Perbesaran 50x dengan Nomor sayatan ZH007	49
Gambar 4. 7 Peridotit Terserpentinisasi pada stasiun ZT010 difoto dengan arah N 109°E	50
Gambar 4. 8 Petrografis Webstrite Terserpentinisasi perbesaran 50 x dengan nomor sayatan ZT010	52
Gambar 4. 9 Peridotit dengan rekahan yang diisi oleh mineral Garneirit difoto pada stasiun ZT07	53
Gambar 4. 10 Petrografis Olivin Webstritee perbesaran 50x dengan nomor sayatan ZT007	54
Gambar 4. 11 Singkapan Dunit pada daerah penelitian	56
Gambar 4. 12 Petrografis Dunit dengan Nomor Sayatan ZH5205	57
Gambar 4. 13 kenampakan jelas Profil laterite pada blok X daerah penelitian	58
Gambar 4. 14 Profil vertikal laterit zona Limonit (0-15 meter)	59
Gambar 4. 15 Foto Core zona Red Limonite (0-10 meter)	59
Gambar 4. 16 Foto Core zona Yellow Limonite/transisi Zone (10-15 meter)	59
Gambar 4. 17 Profil vertikal laterit zona Saprolit(15-30 meter)	60
Gambar 4. 18 Foto Core zona Saprolit (15-30 meter)	60
Gambar 4. 19 Profil vertikal laterit zona Saprolit menunjukkan Rocky Saprolit (30-40 meter)	61
Gambar 4. 20 Foto Core Rocky Saprolit 30-40 meter	61
Gambar 4. 21 Profil vertikal laterit <i>Bedrock</i> (40-45 meter)	61
Gambar 4. 22 Foto Core <i>Bedrock</i> (43-45 Meter)	62
Gambar 4. 23 Tennary Plot zona Limonit	62
Gambar 4. 24 Tennary Plot pada zona Saprolit	63
Gambar 4. 25 Tennary Plot pada zona <i>Bedrock</i>	64
Gambar 4. 26 Profil vertikal Hole ZH5004 Perbandingan unsur Major dan	

Minor/Trace element laterit pada batuan Lherzolite	65
Gambar 4. 27 Profil vertikal laterit ZH5305 Perbandingan unsur Major dan Minor/Trace element laterit pada batuan Lherzolite Terserpentinisasi.....	67
Gambar 4. 28 Profil vertikal laterit ZH5205 Perbandingan unsur Major dan Minor/Trace element laterit pada batuan Dunit	69
Gambar 4. 29 Profil vertikal Laterit Hole ZH5007 Perbandingan unsur Major dan Minor/Trace element laterit pada batuan Webstrite	71
Gambar 4. 30 Profil vertikal Laterit Hole ZH5304 Perbandingan unsur Major dan Minor/Trace element laterit pada batuan Webstrite Terserpentinisasi.....	73
Gambar 4. 31 Profil vertikal Laterit Hole ZH5000 Perbandingan unsur Major dan Minor/Trace element laterit pada batuan Olivin Webstritee.....	75
Gambar 4. 32 Histogram Perbandingan unsur Ni pada tiap zona Profil Laterit.....	78
Gambar 4. 33 Histogram Perbandingan unsur Fe pada tiap zona Profil Laterit.....	79
Gambar 4. 34 Histogram Perbandingan unsur MgO pada tiap zona Profil Laterit	80
Gambar 4. 35 Histogram Perbandingan unsur SiO ₂ pada tiap zona Profil Laterit	81

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2. 1 Peran beberapa elemen selama pelapukan laterit (Ahmad, 2009).....	20
Tabel 4. 1 Data statistik analisis data assay Lherzolute.....	65
Tabel 4. 2 Data statistik analisis data assay Webstrite.....	68
Tabel 4. 3 Data statistik analisis data assay Olivin Webstritee.....	70
Tabel 4. 4 Data statistik analisis data assay Dunit.....	74
Tabel 4. 5 Tabel unsur tiap Profil pada masing masing Profil laterit <i>Bedrock</i>	77

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Secara regional, geologi Pulau Sulawesi terkenal dengan sebaran batuan ultrabasa yang cukup luas dengan potensi mineral yang dimilikinya, termasuk mineral nikel. Sebaran batuan ultrabasa ini dikenal dengan istilah ESO (*East Sulawesi Ophiolite*), dan mineral yang berpotensi masuk dalam kelompok endapan mineral laterit, yaitu nikel laterit.

Bijih besi adalah produk residual pelapukan kimia pada batuan Ultramafik, proses ini berlangsung selama jutaan tahun dimulai ketika batuan Ultramafik tersingkap di permukaan bumi, pelapukan pada peridotit menyebabkan unsur-unsur dengan *Mobilitas* rendah sampai *immobile* seperti Ni, Fe dan Co mengalami pengayaan secara residual dan sekunder.

Salah satu faktor yang mempengaruhi pembentukan endapan nikel laterit adalah batuan asal/induk, batuan induk endapan laterit nikel adalah batuan Ultramafik. Secara sederhana batuan beku Ultramafik adalah batuan beku yang secara kimia mengandung kurang dari 45% SiO₂ dari komposisinya, kandungan mineralnya didominasi oleh mineral-mineral berat dengan kandungan unsur-unsur seperti Fe dan Mg (Waheed, 2006).

Meskipun merupakan salah satu endapan laterit nikel yang telah lama diketahui keberadaannya, namun endapan laterit nikel Pomalaa belum banyak diteliti dan dipublikasikan secara menyeluruh terkait zonasi dan profilnya.

Penelitian endapan laterit nikel Pomalaa telah berlangsung di wilayah PT. Ceria Nugraha Indotama dimana dalam penyebaran unsur ekonomis berbeda di tiap Pit, daerah tersebut secara geologi termasuk ke dalam kompleks Ofiolit di lengan Tenggara Sulawesi yang merupakan bagian dari Ofiolit Sulawesi Timur (OST) dimana Formasi ini memiliki potensi yang besar dalam pengayaan Nikel dan unsur besi lainnya pada zona-zona tertentu.

Atas dasar tersebut maka peneliti melakukan penelitian untuk meneliti zonasi-zonasi pada Laterit di daerah tersebut untuk kedepannya dapat diketahui zona pengayaan Nikel terbanyak dan pada jenis batuan ultramafik apa dapat terkayakan nikel paling potensial.

1.2 Rumusan masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik batuan ultramafik pada daerah penelitian?
2. Bagaimana karakteristik geokimia endapan nikel laterit pada daerah penelitian?
3. Apakah *Bedrock* berhubungan dalam pembentukan profil laterit dan pengayaan unsur Ni ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan profil laterit daerah penelitian.
2. Mengetahui karakteristik geokimia endapan nikel laterit pada daerah penelitian.

3. Menentukan batuan dasar daerah penelitian
4. Menentukan penyebaran unsur Ni pada daerah penelitian

1.4 Batasan Masalah

Batasan penelitian ini berkisar pada karakteristik batuan ultramafik di permukaan dan batuan dasar dibawah permukaan dan karakteristik Geokimia endapan laterit serta indikasinya terhadap penyebaran unsur Ni pada Blok X PT. Ceria Nugraha Indotama

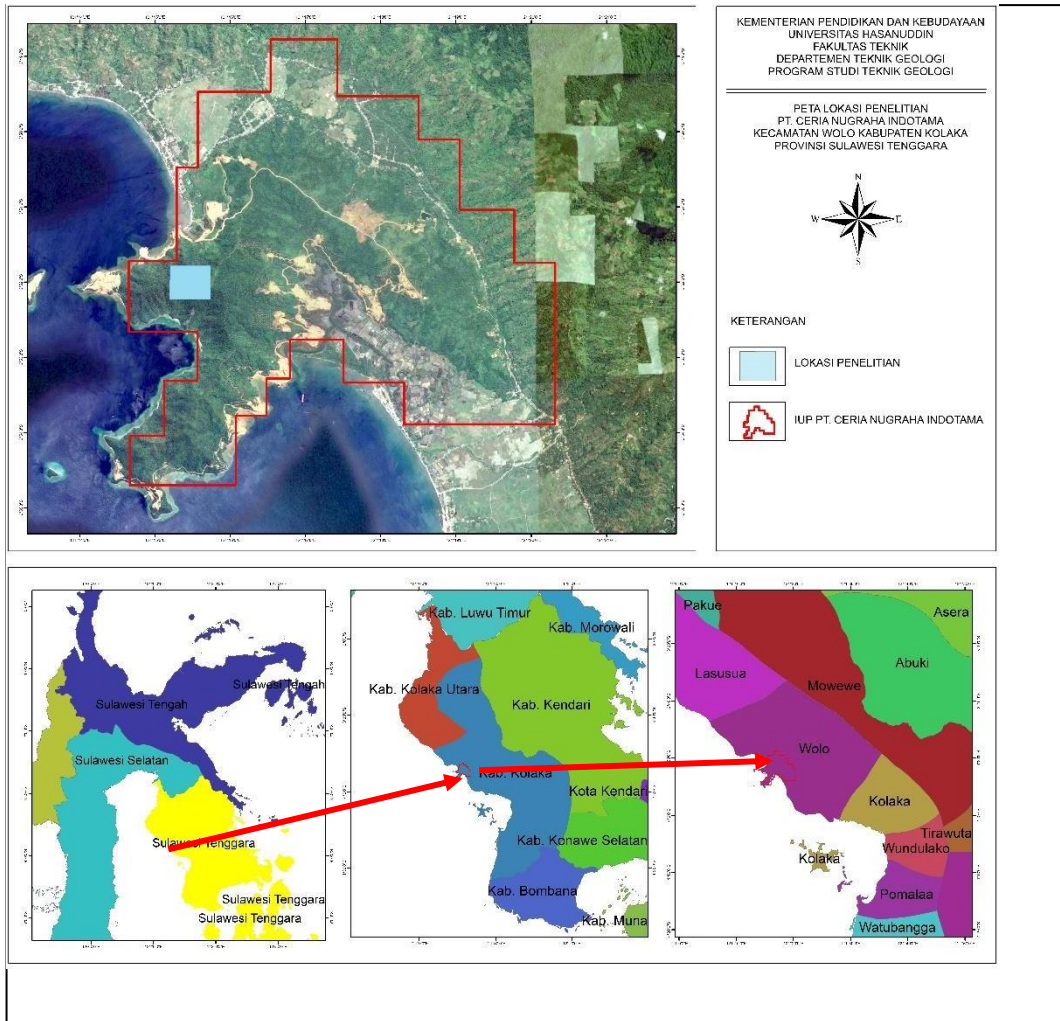
1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai bahan acuan atau referensi untuk mengetahui kondisi geologi pada daerah penelitian serta mengetahui perencanaan eksploitasi bahan tambang nikel laterit pada blok “X” PT. Ceria Nugraha Indotama.

1.6 Lokasi Penelitian dan Kesampaian Daerah

Secara administratif daerah penelitian termasuk dalam IUP (Izin Usaha Pertambangan) PT. CERIA NUGRAHA INDOTAMA yang terletak di Kecamatan Wolo, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara. Daerah penelitian termasuk dalam Lembar Wolo nomor 2112- 32 Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1 : 50.000 yang diterbitkan BAKOSURTANAL edisi I tahun 1988 (Cibinong, Bogor). Daerah penelitian mencakup luas wilayah kurang lebih 51,84 km². Yang di mana wilayah tersebut dapat di tempuh melalui jalur transportasi udara dari Makassar danKendari. Penerbangan dari Makassar ke Pomalaa ditempuh sekitar 50 menit. Angkutan darat dari Pomalaa ke lokasi

tambang ditempuh sekitar dua jam.



Gambar 1. 1 Peta Tunjuk Lokasi Daerah Penelitian

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Pembahasan geologi regional terdiri dari penjelasan mengenai geomorfologi stratigrafi, dan struktur geologi regional. Pembahasan tersebut berdasarkan peneliti Simandjatak, pada tahun 1993 yang melakukan pemetaan geologi Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi dengan skala 1:250.000.

2.1.1 Geomorfologi

Geomorfologi pada daerah penelitian dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu Dataran Aluvial, Perbukitan Bergelombang rendah, dan Perbukitan Bergelombang tinggi. Dataran Aluvial berkembang terutama di sekitar Sungai Wolo yang mengalir ke arah selatan dengan topografi yang relatif datar menempati sekitar 10% daerah penelitian. Sedangkan morfologi Perbukitan Bergelombang rendah menempati sebagian besar daerah penelitian dan sekitar 70% berupa perbukitan kecil dengan kelerengan landai 10° sampai dengan 25°. Morfologi ini memanjang timurlaut-baratdaya dan dipotong oleh dataran aluvial di sekitar Sungai Wolo pada bagian barat, serta mengelilingi Perbukitan Bergelombang Tinggi yang mengelompok di bagian tengah daerah penelitian. Perbukitan Bergelombang tinggi tersebut menempati hampir 20% daerah penelitian memiliki kelerengan yang terjal hingga 70° di beberapa tempat.

Pada dataran aluvial laterit tidak berkembang, hanya dijumpai erosi laterit yang ter transportasi ke daerah tersebut. Pada bagian lereng bukit morfologi perbukitan bergelombang dengan kelerengan 20° umumnya keterdapatan zona lateritnya relatif tipis, akan tetapi pada bagian perbukitan bergelombang relatif datar dengan kelerengan berkisar 10° sampai dengan 15° zona laterit berkembang lebih baik. Pada zona Perbukitan Bergelombang Tinggi lateritisasi juga tidak dapat berkembang dengan baik. Bahkan di beberapa tempat dapat dijumpai singkapan batuan dasar yang muncul ke permukaan. Namun demikian, di dataran yang relatif landai pada zona Perbukitan Bergelombang Tinggi tersebut masih dapat dijumpai lateritisasi berkembang secara terbatas.

2.1.2 Stratigrafi

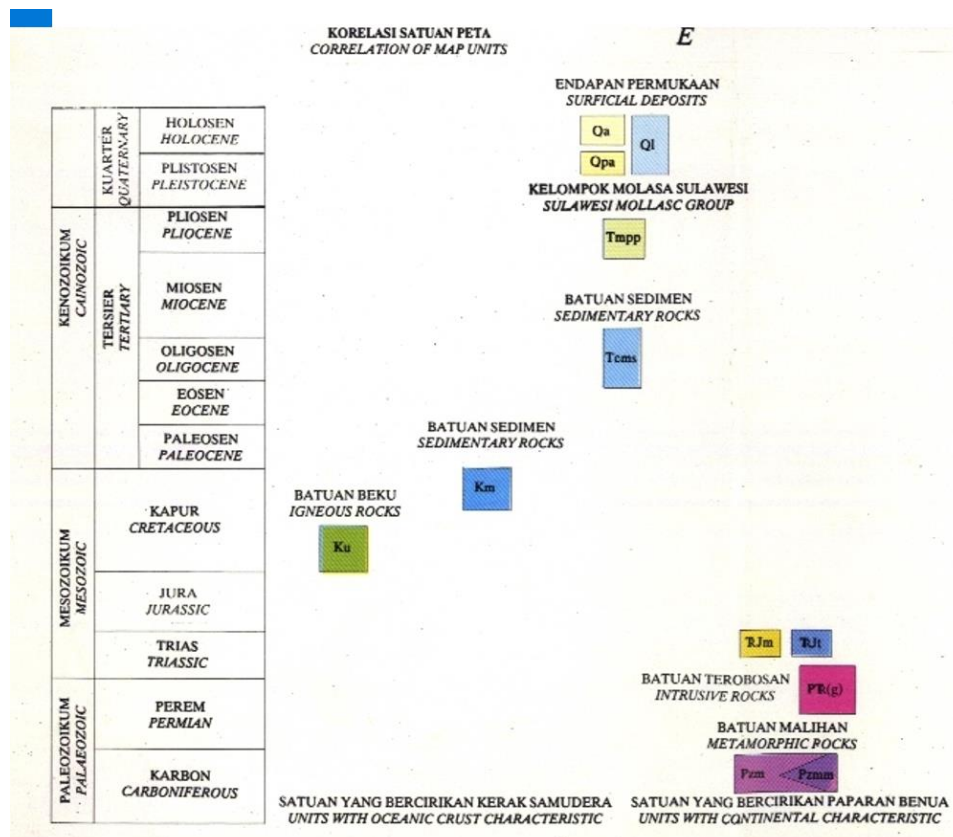
Secara umum stratigrafi regional daerah penelitian termasuk pada lembar Lasusua-Kendari, pada daerah penelitian terdapat dua satuan batuan dari yang paling muda adalah sebagai berikut:

Aluvium (Qa) terdiri atas kerikil, kerakal, pasir lempung dan lumpur. Satuan ini merupakan hasil dari endapan sungai, rawa dan endapan pantai. Umur satuan ini adalah holosen.

batuan Ofiolit (Ku) terdiri atas peridotit, dunit dan serpentinit. Serpentinit berwarna kelabu tua sampai kehitaman; padu dan pejal. batumannya bertekstur afanitik dengan susunan mineral antigorit, lempung dan magnetit. Umumnya memperlihatkan struktur kekar dan cermin sesar yang berukuran megaskopis. Dunit, kehitaman; padu dan pejal, bertekstur afanitik. Mineral penyusunnya ialah olivin, piroksin, plagioklas, sedikit serpentinit dan magnetit; berbutir halus sampai

sedang. Mineral utama olivin berjumlah sekitar 90%. Tampak adanya penyimpangan dan pelengkungan kembaran yang dijumpai pada piroksin, mencirikan adanya gejala deformasi yang dialami oleh batuan ini, di beberapa tempat dunit terserpentinkan kuat yang ditunjukkan oleh struktur sisa seperti rijang dan barik-barik mineral olivin dan piroksin, serpentin 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.



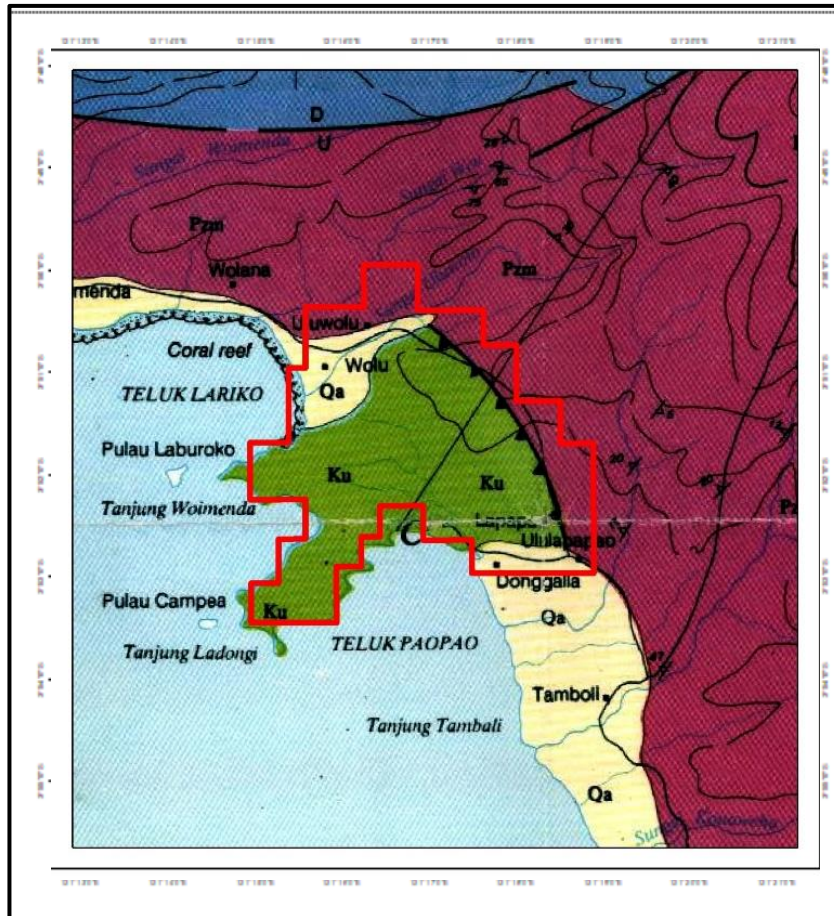
Gambar 2. 1 Korelasi Satuan Lembar Lasusua Kendari (Simandjutak dkk, 1993)

2.1.3 Struktur Geologi

Struktur geologi Lembar Lasusua-Kendari memperlihatkan ciri kompleks tumbukan dari pinggir benua yang aktif. Berdasarkan struktur, himpunan batuan, biostratigrafi dan umur, daerah ini dapat dibagi menjadi 2 domain yang sangat berbeda, yakni: 1) allochton: ofiolit dan malihan, dan 2) autochton: batuan gunungapi dan pluton Tersier dan pinggir benua Sundaland, serta kelompok molasa Sulawesi. Lembar Lasusua, sebagaimana halnya daerah Sulawesi bagian timur, memperlihatkan struktur yang sangat rumit. Hal ini disebabkan oleh pengaruh pergerakan tektonik yang telah berulang kali terjadi di daerah ini.

Struktur geologi yang dijumpai di daerah kegiatan adalah sesar, lipatan dan kekar. Sesar dan kelurusan umumnya berarah baratlaut–tenggara searah dengan Sesar geser jurus mengiri Lasolo. Sesar Lasolo aktif hingga kini, yang dibuktikan dengan adanya mata air panas di Desa Sonai, Kecamatan Pondidaha pada batugamping terumbu yang berumur Holosen dan jalur sesar tersebut di tenggara Tinobu. Sesar tersebut diduga ada kaitannya dengan Sesar Sorong yang aktif kembali pada Kala Oligosen (Simandjatak dkk, 1993).

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



Gambar 2. 2 Daerah Penelitian dalam Sebagian Peta Geologi Lembar Lasusua Kendari (Simandjatak dkk, 1993)

2.2 Landasan Teori

2.2.1 batuan Ultramafik

batuan ultrabasa merupakan batuan yang kaya mineral basa (mineral ferromagnesia) dengan komposisi utama batumannya adalah mineral olivin, piroksen, hornblende, mika dan biotit, sehingga batuan ultrabasa memiliki indeks warna > 70 % gelap dan sebagian besar berasal dari plutonik (Waheed, 2002). Beberapa mineral yang dominan hadir dalam batuan ultrabasa (McDonough dan Rudnick, 1998) adalah sebagai berikut :

1. Olivin

Mineral olivin dalam batuan ultrabasa didominasi oleh forsterit (Mg_2SiO_4). umumnya forsterit dalam olivin dapat mencapai kisaran 90% - 92%, sedangkan sisanya berupa fayalit (Fe_2SiO_4).

2. Ortopiroksen

Kandungan alumina dari ortopiroksen pada fasies peridotit garnet umumnya rendah dan bervariasi, biasanya ortopiroksen pada fasies ini digunakan untuk mengetahui tekanan pembentukannya. Secara umum, kandungan CaO pada ortopiroksen sangat bervariasi dan umumnya digunakan untuk mengetahui suhu pembentukan, sedangkan kandungan Na_2O dan TiO_2 dapat mencerminkan komposisi dari peridotit tersebut.

3. Klinopiroksen

Kandungan alumina dari klinopiroksen pada fasies peridotit garnet umumnya rendah dan bervariasi, biasanya klinopiroksen pada fasies ini digunakan untuk mengetahui tekanan pembentukannya. Kandungan Cr_2O_3 pada klinopiroksen umumnya tinggi.

4. Plagioklas

Plagioklas dalam peridotit didominasi oleh anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Rasio anorthit dalam Peridotit Plagioklas berkisar antara 50% - 80%, sedangkan sisanya berupa albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$). Plagioklas dapat juga ditemukan sebagai mineral sekunder pada peridotit xenolith yang menunjukkan komposisi yang basa dan dapat terkait dengan kandungan Na yang relatif tinggi yang membentuk amfibol.

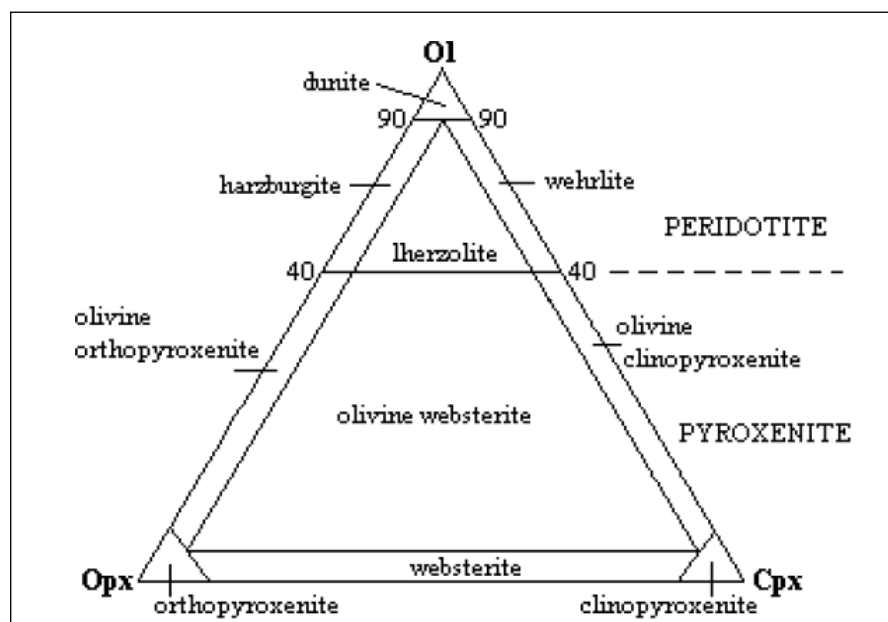
5. Spinel

Spinel dapat diartikan sebagai mineral atau nama grup mineral. Grup spinel terdiri atas spinel ($MgAl_2O_4$), hercynit ($FeAl_2O_4$), magnesio-kromit ($MgCr_2O_4$), dan kromit ($FeCr_2O_4$). Umumnya, lherzolit memiliki spinel dengan kandungan Al yang tinggi dan Cr yang rendah, di sisi lain harzburgite memiliki kandungan Al yang rendah dan Cr yang tinggi

6. Garnet

Garnet dapat hadir pada mantel xenolith yang dibawa oleh basalt alkali dan kimberlite, juga ditemukan pada *depleted peridotite*. Analisis garnet dari peridotit garnet menunjukkan bahwa garnet mampu memperlihatkan zonasi

komposisi yang cukup penting dari inti ke tepi.



Gambar 2. 3 Klasifikasi IUSGS Batuan Ultrabasa Streckeisen (1976) dalam (Ahmad, 2006)

Berdasarkan klasifikasi dari Streckeisen (1976) memperlihatkan klasifikasi untuk batuan ultramafik (Gambar 2.3). Di mana dalam klasifikasi ini batuan intrusi dan ekstrusi dipisahkan. Klasifikasi ini pembagiannya berdasarkan kandungan mineraloginya, yang terbagi dalam empat jenis mineral.

Pada kenyataannya, istilah untuk “ultrabasa” dan “ultramafik” tidak identik. batuan yang mengandung sangat sedikit silika dinamakan batuan ultrabasa. Perlu diketahui bahwa istilah “ultrabasa” hanya menunjukkan kandungan silika yang sedikit tanpa menyiratkan kehadiran mineral-mineral ferromagnesia. Sedangkan istilah untuk batuan “ultramafik” hanya menunjukkan kehadiran dari mineral mafik tanpa mempertimbangkan kandungan silika (Ahmad, 2006).

Tabel 2. 1 Perbedaan batuan Ultramafik dan Ultrabasa (Ahmad, 2006)

	Ultramafic rock (Mafics > 70%)	Ultrabasic rock (Silica < 45%)
Dunite	Yes, mafics 100%	Yes, silica = 43%
Serpentine	Yes, mafics 100%	Yes, silica = 43%
Harzburgite (50% olivine, 50% enstatite)	Yes, mafics 100%	No, silica = 51%
Orthopyroxenite (enstatite)	Yes, mafics 100%	No, silica = 60%
Anorthosite	No, mafics < 10%	Yes, silica = 43%

1. Peridotit

Peridotit biasanya membentuk suatu kelompok batuan ultrabasa yang disebut ofiolit, umumnya membentuk tekstur kumulus yang terdiri atas harzburgit, lertzolit, wehrlit, 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 (Williams, 1954).

2. Dunit

Dunit merupakan batuan yang hampir murni olivin (90% - 100%). (Ahmad, 2002) menyatakan bahwa dunit memiliki komposisi mineral hampir seluruhnya adalah monomineralik olivin (umumnya magnesia olivin), mineral asesorisnya meliputi kromit, magnetit, ilmenit, dan spinel.

Pembentukan dunit berlangsung pada kondisi padat atau hampir padat (pada temperatur yang tinggi) dalam larutan magma, dan sebelum mendingin pada temperatur tersebut, batuan tersebut siap bersatu membentuk massa olivin anedral yang saling mengikat (Williams, 1954). Terbentuknya batuan yang terdiri dari olivin murni (dunit) misalnya, membuktikan bahwa larutan magma (*liquid*) berkomposisi olivin memisah dari larutan yang (Williams, 1954).

3. Serpentin

Serpentin merupakan batuan hasil alterasi hidrotermal dari batuan ultrabasa, 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 tersusun oleh mineral grup serpentin > 50 % (Williams, 1954).

Menurut Hess (1965) dalam Ringwood (1975), bahwa pada prinsipnya kerak serpentin dapat dihasilkan dari mantel oleh hidrasi dari mantel ultrabasa (mantel peridotit dan dunit) di bawah punggung tengah samudera (*Mid Ocean Ridge*) pada temperatur < 500⁰C. Serpentin kemudian terbawa keluar melalui migrasi litosfer. Serpentinisasi pada mineral olivin, bahwa Serpentin merupakan

suatu pola mineral dengan komposisi $H_4Mg_3Si_2O_9$, terbentuk melalui alterasi hidrothermal dari mineral feromagnesia seperti olivin, piroksen dan amfibol (Ahmad, 2002)

Umumnya alterasi pada olivin dimulai pada pecahan / retakan pada kristalnya, secepatnya keseluruhan Kristal mungkin teralterasi dan mengalami pergantian. Serpentinisasi pada olivin memerlukan penambahan air, pelepasan magnesita atau penambahan silika, pelepasan besi (Mg, Fe) pada olivin, konversi pelepasan besi dari bentuk ferrous (Fe^{2+}) ke ferri (Fe^{3+}) ke bentuk magnetit (Ahmad, 2002).

4. 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

5. Hornblendit

Hornblendit merupakan batuan ultramafik monomineral dengan komposisi mineral sepenuhnya hornblende, berikut beberapa penamaan yang umum dalam batuan beku ultrabasa (Gill, 2010) :

1. Dunit mengandung komposisi olivin > 90%
2. Harzburgit, batuan ultrabasa berbutir kasar yang terdiri atas olivin (> 40%)
+ ortopiroksen

3. Lherzolit, batuan ultrabasa berbutir kasar yang terdiri atas olivin (> 40%) + ortopiroksen + klinopiroksen
4. Wehrlit, batuan ultrabasa berbutir kasar yang terdiri atas olivin (>40%) + klinopiroksen
5. Websterit, termasuk piroksenit yang terdiri atas ortopiroksen dan klinopiroksen. Websterit yang terdiri atas olivin (10% - 40%) disebut olivin Websterit.

2.2.2 Serpentinisasi

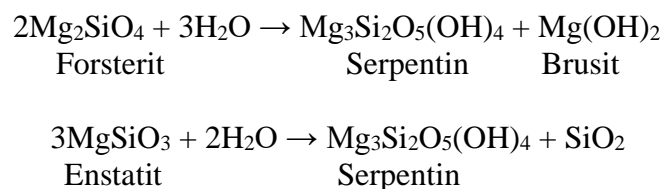
Serpentinisasi setidaknya membutuhkan: Serpentin berasal dari batuan ultramafik yang mengalami proses alterasi akibat proses geologi tertentu. Luasan dari lantai samudra yang tersingkap belum diketahui, batuan ini akan mengalami interaksi hidrotermal pada batas lempeng divergen. Seketika tersingkap, akan mengalami berbagai macam proses yang dapat mengubah komposisinya, termasuk interaksi dengan intrusi, sirkulasi hidrotermal, dan pelapukan lantai samudera yakni semua proses tersebut akan memodifikasi komposisi primer dari batuan tersebut (Ahmad, 2006).

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

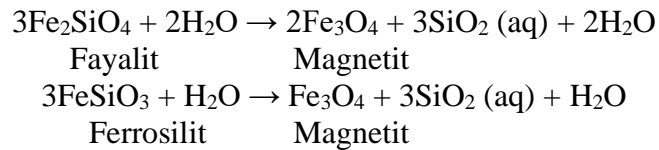
Secara umum batuan dasar penghasil tanah laterit merupakan batuan-batuan ultramafik dimana batuan yang rendah akan unsur Si, namun tinggi akan unsur Fe, Mg dan terdapat unsur Ni yang berasal langsung dari mantle bumi. Kehadiran mineral serpentin pada batuan ultramafik menjadi suatu peranan penting dalam 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.

Proses serpentinisasi dapat terjadi pada penambahan air hujan (suhu 25°C) maupun pada alterasi hidrotermal air laut (>350°C). Proses serpentinisasi masih menjadi pertanyaan apakah proses tersebut *isovolumetrik* yang melibatkan transfer massa atau hanya proses hidrasi semata dengan penambahan volume. Proses ini terjadi pada temperatur yang rendah, merupakan proses hidrasi (200 – 400°C) yang mana dapat berubah pada kondisi statis dan reduksi (Palandri dan Reed, 2004). Dalam reaksi sederhana serpentinisasi (tidak setimbang) dapat disimpulkan dengan :

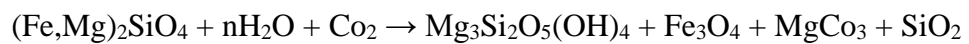
Reaksi serpentinisasi secara kimia dapat dituliskan sebagai berikut :



Pada kondisi Oksidasi anaerob, oksidasi besi di dalam olivin dan piroksen oleh air pada saat serpentinisasi menyebabkan terbentuknya hidrogen yang dituliskan:



Pada rumus diatas menjelaskan bahwa oksigen penting dalam pembentukan magnetit yang mana oksigen tersebut diekstrak dari dekomposisi air dan menghasilkan hidrogen. Pada kondisi tertentu dengan hadirnya karbon dioksida, proses serpentinisasi dapat membentuk magnetit dan magnesit.



Oleh karena reaksi diatas, salah satu faktor tingginya tingkat serpentinisasi pada sebuah batuan ultramafik dapat diukur dari tingkat kemagnetanya. Dimana semakin tinggi serpentinisasi akan menghasilkan tingkat kemagnetan dan ukuran butir magnetit (Ahmad, 2002).

Kelompok mineral serpentin mempunyai struktur lapisan / filosilikat. Dimana rumus kimia dasarnya adalah $\text{X}_6\text{Y}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$, dimana variable X berupa Magnesium dengan peluang untuk tergantikan oleh nikel, kobalt, mangan, besi, dan seng. Struktur Kristal dari krisotil adalah berdasarkan dari kisinya yang silindris

Serpentinisasi (Palandri dan Reed, 2004) adalah suatu reaksi eksotermis, hidrasi dimana air bereaksi dengan mineral mafik seperti olivin dan piroksen untuk menghasilkan lizardit, antigorit, dan krisotil berdasarkan *polymorfismenya*, serpentin dibedakan atas 3 yaitu krisotil (klinokrisotil, ortokrisotil, parakrisotil) , lizardit, dan antigorit).

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

Laterit 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, 2017).

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

1. Sifat kimia tertentu dari unsur itu sendiri (geokimia)

Kondisi lingkungan yang berlaku (suhu, curah hujan, kondisi batuan, kondisi pH, dll.)

Tabel 2. 2 Peran beberapa elemen selama pelapukan laterit (Ahmad, 2009)

<i>Element</i>	<i>Exists in the ultramafiks 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, magnesium dapat dengan cepat keluar dari profil laterit. Namun, di bawah kondisi iklim basah-kering, beberapa magnesium dalam bentuk lempung dalam profil laterit mungkin terhambat.
- c. Si. Silika memiliki kelarutannya lebih rendah dari magnesium, silika sering kali dapat diendapkan dalam zona saprolitik dari profil laterit di mana magnesium secara aktif masuk ke dalam larutan.
- d. Fe. Kelarutan zat besi sangat bervariasi tergantung pada keadaan valensinya, dimana zat besi (Fe^{2+}) cukup larut dalam air tanah sedangkan zat besi (Fe^{3+}) 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) Cr. Kromium dalam kromit tidak larut dalam air tanah dan sangat stabil, bertahan sebagai kromit di zona Limonit laterit.
- f. Mn dan Co memiliki *mobilitas* agak rendah (*semi-mobile*) 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 endapat 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.

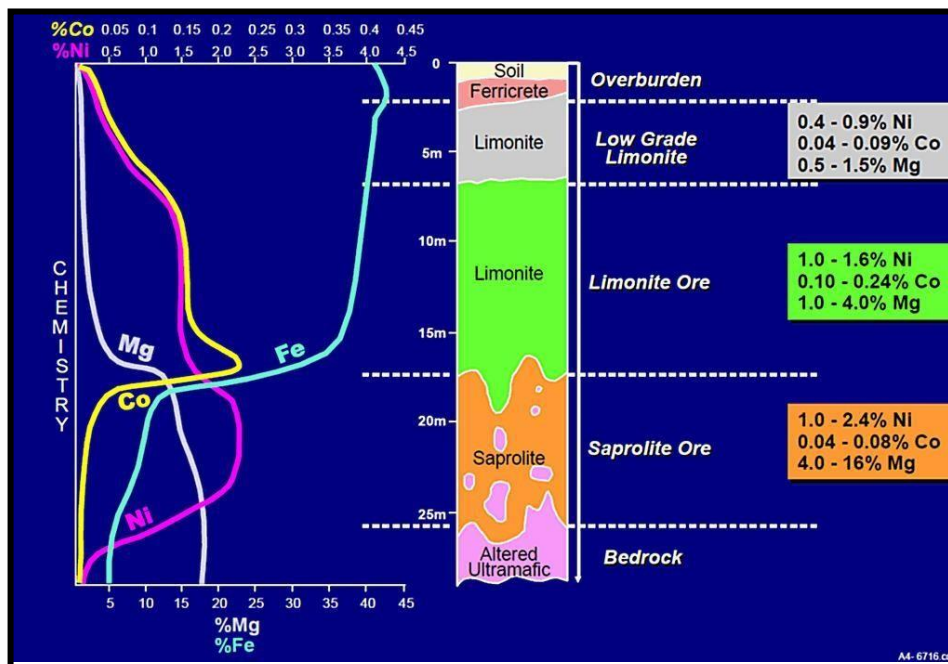
Air permukaan yang mengandung CO_2 dari atmosfer dan terkayakan kembali oleh material-material organik di permukaan meresap ke bawah permukaan tanah sampai pada zona pelindian (*leaching zone*), tempat terjadinya fluktuasi air tanah berlangsung. Akibat fluktuasi ini, air tanah yang kaya CO_2 akan mengalami 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 (*Saprolit 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 (Maulana, 2017)

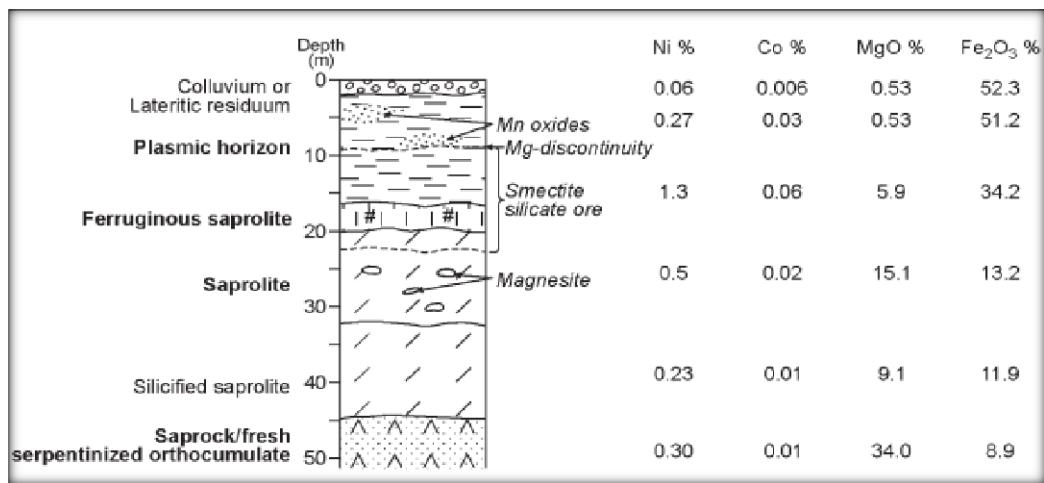
Terdapat hubungan antara tipe deposit dimana *Hydrous silicates* melimpah pada iklim tropis yang sekarang mirip dengan iklim lokal. *Oxide and clay silicate deposits* terbentuk dari semua pergantian iklim. (Butt dan Morris, 2005).

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, 2002).

Clay silicate deposit didominasi oleh nontronite dan montmorilonite tampak lebih mudah terbentuk dari batuan ultramafik yang mengandung mikroskopis, seperti ortokumosis komatiitik dari pada orthopiroksin, karena konsentrasi Ca, Na, dan Al awal yang lebih tinggi.

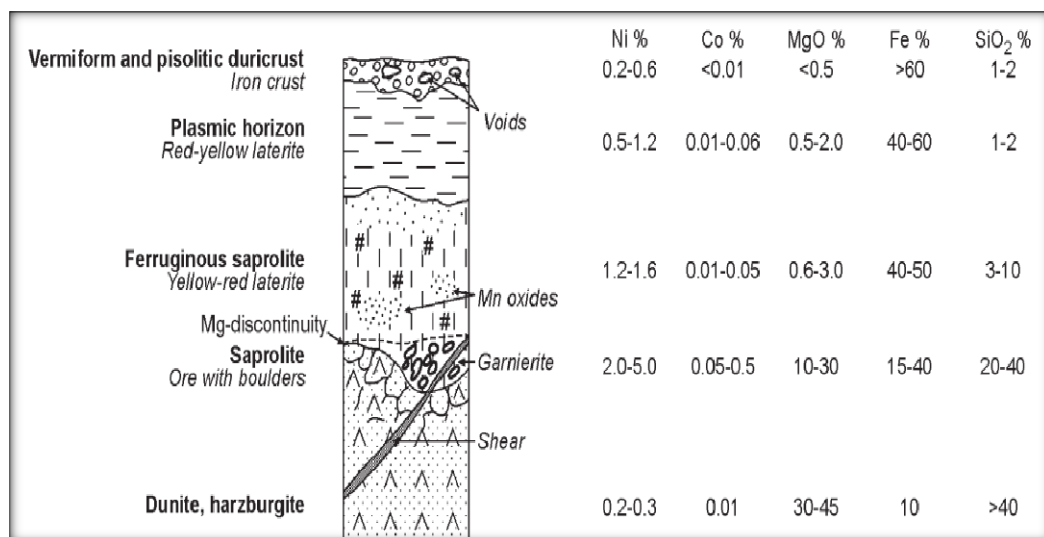


Gambar 2. 5 *Clay silicate deposit*, Murrin Australia (Butt dan Morris, 2005)

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, *orthopiroksin* dan yang kurang umum adalah *klinopiroksin*) dipecah oleh hidrolisis yang melepaskan unsur penyusunnya sebagai ion dalam larutan berair. olivin 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. *Orthopiroksin* dan *serpentine* hidrolisis setelah olivin, juga melepaskan Mg, Si dan digantikan oleh *pseudomorph* goethitik. Awalnya, sementara mineral ferromagnesium 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).

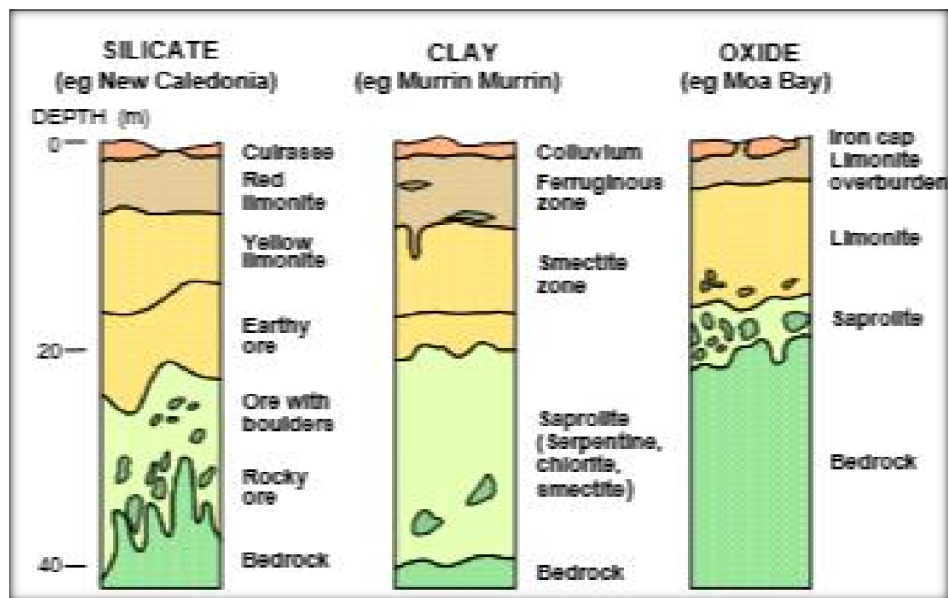


Gambar 2. 6 Profil laterit deposit oxida, Goro New Caledonia (Butt dan Morris,2005)

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, 2002).



Gambar 2. 7 *Hidrous Silica Deposit* secara umum (Butt dan Morris, 2005)

2.2.4 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

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)

Lapisan ini terletak di bawah lapisan tanah penutup *Fine-grained*, merah-coklat atau kuning, agak lunak, berkadar air antara 30% - 40%, kadar nikel 1,5%, Fe 44%, MgO 3%, SiO₂%, lapisan kaya besi dari limonit soil menyelimuti seluruh area dengan ketebalan rata-rata 3 meter.. Lapisan ini tipis pada lereng yang terjal, dan setempat hilang karena erosi. Sebagian dari nikel pada zona ini hadir di dalam mineral *manganese oxide*, *lithiophorite*. Terkadang terdapat mineral talc, tremolite, chromiferous, Quartz, gibbsite, maghemite. Limonite di daerah *west block* (*unserpentinized*) umumnya mempunyai nikel lebih tinggi di bandingkan dengan limonite di daerah *East block* (*Serpentinized*). Limonit dibedakan menjadi 2, yaitu : *Red limonit* yang biasa disebut hematit dan *Yellow limonit* yang disebut goethit . Biasanya pada goetit nikel berasosiasi dengan Fe dan mengganti unsur Fe sehingga pada zona limonit terjadi pengayaan unsur Ni.

3. Lapisan Bijih (zona Saprolit)

zona saprolit merupakan zona bijih, tersusun atas fragmen-fragmen batuan induk yang teralterasi, sehingga mineral penyusun, tekstur dan struktur batuan

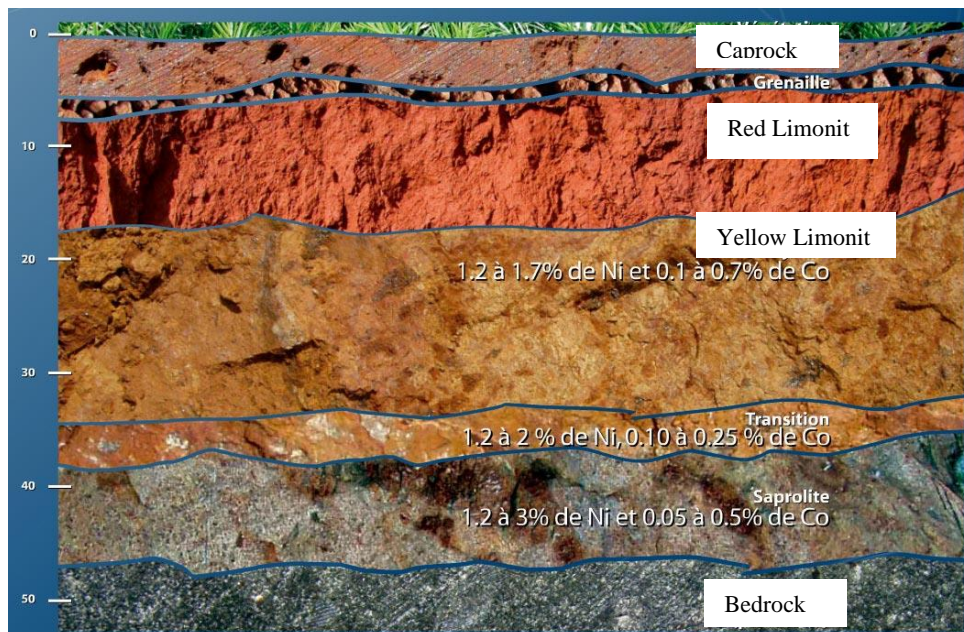
dapat dikenali. Derajat serpentinisasi batuan asal laterit akan mempengaruhi pembentukan zona saprolit, dimana peridotit yang sedikit terserpentinisasi akan memberikan zona saprolit dengan batuan sisa yang keras, pengisian celah oleh mineral – mineral garnierit, kalsedon-nikel dan kuarsa, sedangkan serpentin akan menghasilkan zona saprolit yang relatif homogen dengan sedikit kuarsa atau garnierit. terdapat silica boxwork, bentukan dari suatu zona transisi dari limonite ke *bedrock*. Terkadang terdapat mineral kuarsa yang mengisi rekahan, mineral-mineral primer yang terlapukan, chlorite. Garnierit dilapangan biasanya diidentifikasi sebagai Colloidal talc dengan lebih atau kurang nickeliferous serpentin. Struktur dan tekstur batuan asal masih terlihat. Lapisan ini terdapat bersama batuan yang keras atau rapuh dan sebagian Saprolit. Kadar Ni 1,85%, Fe 16%, MgO 25%, SiO₂ 35%. Lapisan ini merupakan lapisan yang bernilai ekonomis untuk ditambang sebagai bijih.

4. Zona batuan induk (*Bedrock zone*)

Bagian terbawah dari profil laterit Lapisan ini merupakan batuan peridotit yang tidak atau belum mengalami pelapukan. Blok peridotit (batuan dasar) dan secara umum sudah tidak mengandung mineral ekonomis lagi (kadar logam sudah mendekati atau sama dengan batuan dasar). Berwarna kuning pucat sampai abu-abu kehijauan. zona ini terfrakturisasi kuat, kadang membuka, terisi oleh mineral garnierit dan silika. Frakturisasi ini diperkirakan menjadi penyebab adanya *root zone* yaitu zona *high grade* Ni, akan tetapi posisinya tersembunyi.

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. 8 Profil laterit secara umum



Gambar 2. 9 Kenampakan di lapangan Profil Laterit pada New Calcodonia yang mirip dengan profil laterit di Pulau Sulawesi (Morgan dkk, 2011)

2.2.5 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 (2002) 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, 2002). Topografi / morfologi yang tidak curam tingkat kelerengannya, maka endapan laterit masih mampu untuk ditopang oleh permukaan topografi sehingga tidak terangkut semua oleh proses erosi ataupun ketidakstabilan lereng (Maulana, 2017). Menurut (Ahmad, 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

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, 2002)

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, 2002).

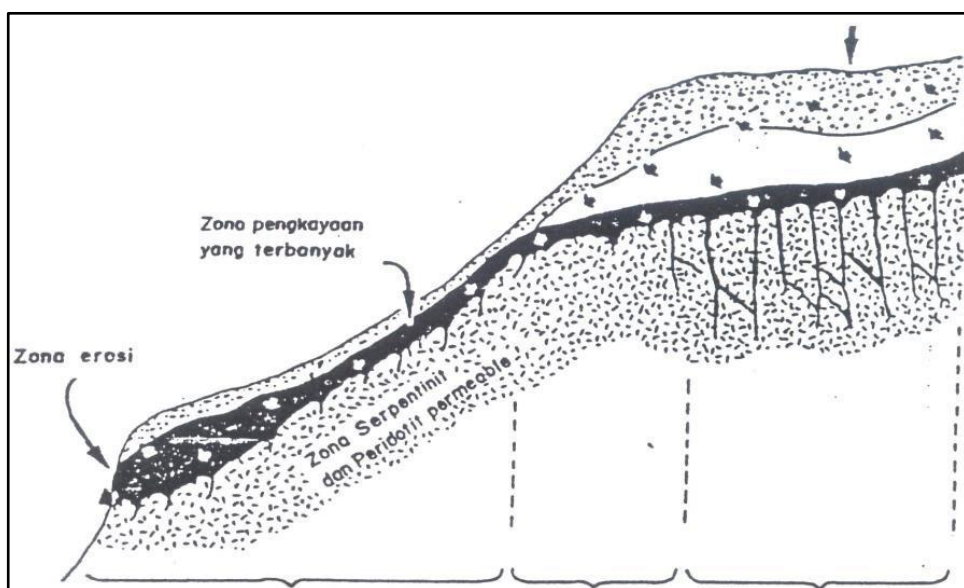
f. batuan Asal

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.

2.2.6 Penyebaran Horizontal Endapan Ni-Laterit

Penyebaran Horizontal Ni tergantung dari arah aliran air tanah yang sangat dipengaruhi oleh bentuk kemiringan lereng (topografi). Air tanah bergerak dari daerah – daerah yang mempunyai tingkat ketinggian ke arah lereng, yang mana sebagian besar dari air tanah pembawa Ni, Mg dan Si yang mengalir ke zona pelindian atau zona tempat fluktuasi air tanah berlangsung.

Tempat - tempat yang banyak mengandung rekahan – rekahan, Ni akan terjebak dan terakumulasi di tempat – tempat yang dalam sesuai dengan rekahan – rekahan yang ada, sedangkan pada lereng dengan kemiringan landai sampai sedang merupakan tempat pengayaan nikel. Pada dasarnya proses pelindian ini dapat dikelompokkan, yaitu proses pelindian utama yang berlangsung secara Horizontal di zona pelindian dan proses pelindian yang berlangsung secara vertikal yang meliputi proses pelindian celah di zona saprolit serta proses pelindian yang terjadi di waktu musim penghujan di zona limonit.



Gambar 2. 10 Penampang tegak endapan nikel laterit (Boldt,1967).