

SKRIPSI

**STUDI SERPENTINISASI DAN PENGARUHNYA TERHADAP KADAR
NIKEL LATERIT PADA BATUAN ULTRAMAFIK PT. KARYA ALAM
ABADI, KABUPATEN KONAWE UTARA PROVINSI
SULAWESI TENGGARA**

Disusun dan diajukan oleh :

**MUH. GAZALI UMAR
D061 18 1031**



**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**STUDI SERPENTINISASI DAN PENGARUHNYA TERHADAP KADAR NIKEL
LATERIT PADA BATUAN ULTRAMAFIK PT. KARYA ALAM ABADI
KABUPATEN KONAWE UTARA PROVINSI SULAWESI TENGGARA**

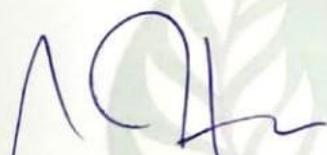
Disusun Dan Diajukan Oleh

**MUH. GAZALI UMAR
D061181031**

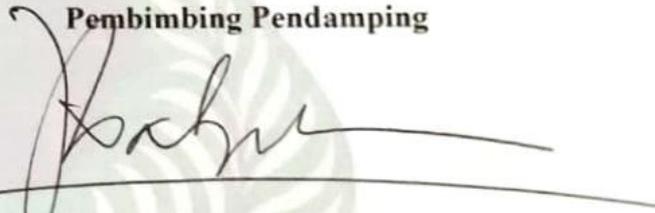
Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yag dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Menyetujui,

Pembimbing Utama


Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T
NIP. 19700606 199412 2 001

Pembimbing Pendamping


Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T
NIP.19591008 198703 1 001

**Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin**


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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Muh. Gazali Umar
NIM : D061181031
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul :

**STUDI SERPENTINISASI DAN PENGARUHNYA TERHADAP KADAR
NIKEL LATERIT PADA BATUAN ULTRAMAFIK PT. KARYA ALAM
ABADI KABUPATEN KONAWE UTARA
PROVINSI SULAWESI TENGGARA**

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 sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut

Makassar, 27 Januari 2023



Muh. Gazali Umar

SARI

Pembentukan endapan nikel laterit erat kaitannya dengan proses serpentinisasi yang terjadi pada batuan peridotit. Larutan hidrotermal mengubah batuan peridotit menjadi batuan serpentin atau batuan peridotit terserpentinisasi. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui karakteristik batuan ultramafik yang terserpentinisasi dan pengaruhnya terhadap kadar nikel laterit pada batuan. Penelitian ini terletak di wilayah IUP blok Y dan blok V PT. Karya Alam Abadi, Desa Waturambaha, Kecamatan Lasolo Kepulauan, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode pengamatan lapangan, analisis petrografi dan analisis geokimia (X-Ray). Berdasarkan tingkat serpentinisasi pada batuan di daerah penelitian terbagi dua yaitu pada blok Y terjadi tingkat serpentinisasi rendah – sedang yang dijumpai mineral lizardit dan mineral krisotil. Sedangkan pada blok V terjadi tingkat serpentinisasi rendah yang dijumpai mineral krisotil. Tingkat serpentinisasi sedang di blok Y menghasilkan kadar Ni yang tinggi dan tingkat serpentinisasi rendah juga menghasilkan kadar Ni yang tinggi pada zona saprolit sehingga konsentrasi kadar Ni yang tinggi juga berasal dari kandungan mineral primer yakni olivin karena serpentinisasi hanya terjadi lokal di batuan dasar. Berdasarkan hasil analisis petrografi, jenis batuan yang ada di blok Y yaitu wherlit, websterit, olivin ortopiroksenit dan olivin klinopiroksenit. Sedangkan pada blok V jenis batuan yang dijumpai yaitu klinopiroksenit, lherzolite dan websterit.

Kata Kunci : *Serpentinisasi, Batuan Ultramafik, Geokimia, Nikel Laterit, Konawe Utara*

ABSTRACT

The formation of nickel laterite deposits is closely related to the serpentinization process that occurs in peridotite rocks. Hydrothermal solution converts peridotite rock into serpentinite rock or serpentinite peridotite rock. The purpose of this study was to determine the characteristics of serpentinized ultramafic rocks and their effect on lateritic nickel content in the rock. This research is located in the IUP area of block Y and block V PT. Karya Alam Abadi, Waturambaha Village, Lasolo Islands District, North Konawe Regency, Southeast Sulawesi Province. This research was conducted using field observation methods, petrographic analysis and geochemical analysis (X-Ray). Based on the level of serpentinization in the rocks in the study area, it is divided into two, namely in block Y there is a low - moderate serpentinization rate which is found in lizardite minerals and chrysotile minerals. Whereas in block V there is a low level of serpentinization which is found in chrysotile minerals. Moderate serpentinization in the Y block results in high Ni content and low serpentinization rate also results in high Ni content in the saprolite zone so that the high concentration of Ni content also comes from the primary mineral content namely olivine because serpentinization only occurs locally in bedrock. Based on the results of petrographic analysis, the rock types in block Y are wherlite, websterite, orthopyroxenite olivine and clinopyroxenite olivine. Whereas in block V the rock types found were clinopyroxenite, lherzolite and websterite.

Key Words : *Serpentinization, Ultramafic Rocks, Geochemistry, Nickel Laterite, North Konawe*

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi yang berjudul **“Studi Serpentinisasi Dan Pengaruhnya Terhadap Kadar Nikel Laterit Pada Batuan Ultramafik PT. Karya Alam Abadi, Kabupaten Konawe Utara Provinsi Sulawesi Tenggara”** dapat diselesaikan. Sholawat serta salam kita haturkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan tauladan terbaik bagi umat manusia.

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

1. Ibu Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T sebagai Pembimbing utama atas segala bimbingannya selama ini.
2. Bapak Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T sebagai Pembimbing pendamping atas segala bimbingannya selama ini.
3. Ibu Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L, M.T dan Bapak Dr. Ir. H. Hamid Umar, M.S sebagai Dosen Penguji yang telah memberikan arahan dan masukan demi perbaikan hasil skripsi penulis kedepannya.
4. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng selaku Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

5. Bapak Andi Baso Nurzain, S.T selaku Kepala Teknik Tambang PT. Karya Alam Abadi yang telah memberikan kami kesempatan untuk melakukan kerja praktik.
6. Bapak Abdul Mahdi A, S.T selaku Kepala Departemen Eksplorasi PT. Karya Alam Abadi sekaligus sebagai pembimbing kami selama melakukan kerja praktik maupun pengambilan data tugas akhir.
7. Seluruh karyawan staf dan non staf PT. Karya Alam Abadi yang telah menerima kami untuk melaksanakan kerja praktik dan pengambilan data tugas akhir.
8. Bapak dan Ibu Dosen pada Jurusan Teknik Geologi Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmunya selama ini.
9. Bapak dan Ibu staf Jurusan Teknik Geologi Universitas Hasanuddin, atas bantuannya dalam pengurusan administrasi penelitian.
10. Kedua Orang Tua penulis, yang tiada henti-hentinya memberikan penulis segala bentuk dukungan, baik berupa dukungan moril ataupun material.
11. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Geologi Universitas Hasanuddin 2018 yang telah banyak membantu selama penyusunan skripsi ini.

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

Makassar, Januari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	iii
SARI	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Waktu dan Lokasi Penelitian	3
1.6 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Geologi Regional	6
2.1.1 Stratigrafi Regional	6
2.1.2 Struktur Geologi Regional	8
2.2 Batuan Ultramafik	8
2.3 Serpentinisasi Batuan Ultramafik	10
2.3.1 Proses Serpentinisasi	11
2.3.2 Tingkat Serpentinisasi Pada Batuan Ultramafik	14
2.3.3 Karakteristik Mineralogi Serpentinisasi	15
2.3.4 Tekstur Serpentinisasi	16
2.3.5 Implikasi Serpentinisasi Terhadap Nikel Laterit	21
2.4 Endapan Laterit	22
2.5 Profil Laterit	23

2.6	Faktor Pengontrol Laterit	25
2.7	Mineralogi Endapan Nikel Laterit.....	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		32
3.1	Metode Penelitian.....	32
3.1.1	Tahap Persiapan	32
3.1.2	Tahap Kegiatan Lapangan	32
3.1.3	Tahap Kegiatan di Laboratorium.....	33
3.1.3.1	Tahap Preparasi Sampel	33
3.1.3.2	Analisis Petrografi	40
3.1.3.3	Analisis XRF (<i>X-Ray Fluorescence</i>).....	41
3.2	Tahap Penyusunan Laporan.....	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		43
4.1	Karakteristik Batuan Ultramafik pada Daerah Lasolo Kepulauan.....	43
4.1.1	Singkapan Batuan Blok Y	43
4.1.2	Singkapan Batuan Blok V	45
4.2	Analisis Petrografi Pada Singkapan Batuan	48
4.2.1	Blok Y Daerah Penelitian	50
4.2.2	Blok V Daerah Penelitian	55
4.3	Analisis Geokimia Pada Singkapan Batuan	59
4.4	Pengaruh Serpetinisasi Terhadap Kadar Nikel Pada Batuan	61
BAB V PENUTUP		63
5.1	Kesimpulan.....	63
5.2	Saran	63

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Tunjuk Lokasi Daerah Penelitian.....	4
Gambar 2.1	Peta Geologi Regional Daerah Waturambaha & Sekitarnya...	6
Gambar 2.2	Model klasiikasi batuan ultramafik bedasarkan presentase olivin (Ol), ortopiroksen (Opx), klinopiroksen (Cpx), piroksen (Px), dan hornblenda (Hbl).....	10
Gambar 2.3	Mekanisme serpentinisasi peridotit menurut Li dan Lee (2006).....	11
Gambar 2.4	Tingkat Serpentinisasi Pada Batuan Peridotit (Jacques,2002)..	15
Gambar 2.5	Generalisai profil laterit (Elias,2002).....	26
Gambar 2.6	Profil Nikel Tipe Hydrous Silicate (Freyssnet et al, 2005).....	30
Gambar 2.7	Profil Nikel Tipe Clay Silicate (Freyssnet et al, 2005).....	31
Gambar 2.8	Profil Nikel Tipe Oxide Deposits (Freyssnet et al, 2005).....	32
Gambar 2.9	Skema transformasi mineral akibat pelapukan batuan dasar (batuan ultramafik) (Nahon, et al., 1992).....	33
Gambar 3.1	Proses homogenisasi sampel (Quartering).....	35
Gambar 3.2	Sampel berukuran mesh -10.....	35
Gambar 3.3	Proses memasukkan sampel kedalam oven.....	36
Gambar 3.4	Proses menghancurkan sampel menjadi ukuran -3 Mesh menggunakan alat Double Roll Crusher.....	36
Gambar 3.5	Alat Double Roll Crusher.....	37
Gambar 3.6	Proses <i>mixing</i> sampel.....	37
Gambar 3.7	Proses pemisahan material sampel yang berbeda ukuran menggunakan alat Split.....	38
Gambar 3.8	Proses penggerusan sampel menggunakan alat Pulferizer.....	38
Gambar 3.9	Alat Pulferizer.....	39
Gambar 3.10	Sampel Matriks 2x5.....	39
Gambar 3.11	Proses Pengemasan sampel kedalam plastik sampel.....	40
Gambar 3.12	Proses pembuatan sampel menjadi kepingan tipis (pallet).....	40
Gambar 3.13	Analisis XRF pada sampel menggunakan alat XRF EPSILON	41
Gambar 3.14	Alat X-Ray Fluorescence Tipe EPSILON.....	41
Gambar 3.15	Analisis Petrografi Menggunakan Mikroskop Polarisasi.....	43

Gambar 3.16	Diagram alir tahapan penelitian.....	44
Gambar 4.1	Singkapan Batuan Peridotit pada Blok Y (blok timur) daerah Penelitian.....	45
Gambar 4.2	Kenampakan kekar gerus (shear joint) berarah barat daya – timur laut pada blok Y daerah penelitian.....	46
Gambar 4.3	Batuan Peridotit dengan Tingkat Serpentinisasi <i>Very Low-Low</i> (0-10%) Pada Stasiun 2 dan 5 Blok Y (blok timur).....	47
Gambar 4.4	Batuan Peridotit dengan Tingkat Serpentinisasi <i>low – medium</i> (10-45%) Pada Stasiun 1,3 dan 4 Blok Y (blok timur).....	47
Gambar 4.5	Singkapan Batuan Peridotit pada Blok V (blok barat) daerah penelitian.....	48
Gambar 4.6	Kenampakan kekar gerus (shear joint) berarah barat laut-tenggara pada blok V daerah penelitian.....	49
Gambar 4.7	Batuan Peridotit yang tidak mengalami serpentinisasi (0%) pada Stasiun 4 Blok V (blok barat).....	49
Gambar 4.8	Batuan Peridotit dengan tingkat Serpentinisasi <i>low-medium</i> pada Stasiun 1, 2 dan 3 Blok V (blok barat).....	49
Gambar 4.9	Sayatan tipis Sampel Stasiun 1 Blok Y, kiri (nikol sejajar) dan kanan (nikol silang).....	52
Gambar 4.10	Sayatan tipis Sampel Stasiun 2 Blok Y, kiri (nikol sejajar) dan kanan (nikol silang)	53
Gambar 4.11	Sayatan tipis Sampel Stasiun 3 Blok Y, kiri (nikol sejajar) dan kanan (nikol silang)	54
Gambar 4.12	Sayatan tipis Sampel Stasiun 4 Blok Y, kiri (nikol sejajar) dan kanan (nikol silang)	55
Gambar 4.13	Sayatan tipis Sampel Stasiun 5 Blok Y, kiri (nikol sejajar) dan kanan (nikol silang)	56
Gambar 4.14	Sayatan tipis Sampel Stasiun 1 Blok V, kiri (nikol sejajar) dan kanan (nikol silang)	57
Gambar 4.15	Sayatan tipis Sampel Stasiun 2 Blok V, kiri (nikol sejajar) dan kanan (nikol silang)	58
Gambar 4.16	Sayatan tipis Sampel Stasiun 3 Blok V, kiri (nikol sejajar) dan kanan (nikol silang)	59
Gambar 4.17	Sayatan tipis Sampel Stasiun 4 Blok V, kiri (nikol sejajar) dan kanan (nikol silang)	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan batuan ultramafik dengan batuan ultrabasa (Ahmad, 2006).....	9
Tabel 2.2	Perbandingan Olivin dan Serpentin (Ahmad, 2001).....	15
Tabel 2.3	Generalisasi kondisi pembentukan polymorph serpentin (Evans, 2004).....	16
Tabel 2.4	Klasifikasi Tekstur Serpentinisasi Menurut Schwartz.....	18
Tabel 2.5	Parameter Perbedaan Endapan Nikel Laterit (Freyssnet et al, 2005).....	32
Tabel 4.1	Hasil Analisis Petrografi Sampel Blok Y dan Blok V Daerah Penelitian.....	46
Tabel 4.2	Hasil Analisis X-Ray Sampel Blok Y Daerah Penelitian.....	57
Tabel 4.3	Hasil Analisis X-Ray Sampel Blok V Daerah Penelitian.....	58

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Batuan induk bijih nikel adalah batuan peridotit. Batuan ultrabasa rata-rata mempunyai kandungan nikel sebesar 0,2 %. Unsur nikel tersebut terdapat dalam kisi-kisi kristal mineral olivin dan piroksin, sebagai hasil substitusi terhadap atom Fe dan Mg. Pembentukan endapan nikel laterit erat kaitannya dengan proses serpentinisasi, proses serpentinisasi yang terjadi pada batuan peridotit akibat pengaruh larutan hidrotermal, akan mengubah batuan peridotit menjadi batuan serpentininit atau batuan serpentininit peridotit. Sedangkan proses kimia dan fisika dari udara, air serta pergantian panas dingin yang bekerja kontinu, menyebabkan disintegrasi dan dekomposisi pada batuan induk. proses serpentinisasi bisa mempengaruhi nilai suatu kadar Ni pada endapan nikel laterit

Pengetahuan mengenai serpentinisasi akan sangat penting untuk menentukan komposisi batuan induk, menentukan temperatur dan kondisi tekanan saat hidrasi berlangsung serta dapat mengetahui komposisi fluida dan sumber fluidanya (Moody, 1976). Seperti telah diketahui yang tidak kalah penting, pengetahuan tentang serpentinisasi juga akan bermanfaat bagi kegiatan eksplorasi utamanya eksplorasi endapan nikel laterit,

Dalam penelitian ini akan diketahui karakteristik mineralogi, tekstur dan tingkat serpentinisasi pada batuan ultramafik serta kandungan kimianya berdasarkan data X-Ray Fluorescence (XRF). Sehingga didapatkan informasi yang mendukung mengenai pengaruh serpentinisasi dalam eksplorasi nikel laterit.

Kecamatan Lasolo Kepulauan merupakan sebuah pulau yang berada pada Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Berdasarkan stratigrafi regionalnya daerah ini didominasi oleh batuan ofiolit yang diperkirakan berumur Trias - Jura Awal dengan lingkungan pengendapan pada laut dangkal (neritik). (Rusmana, dkk, 1993). Pada daerah ini tersingkap kompleks batuan ultramafik yang terhampar luas dan menjadi area IUP PT. Karya Alam Abadi.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui serpentinisasi dan pengaruhnya terhadap kadar nikel laterit pada batuan dengan melihat data assay dan pengamatan petrografi sampel batuan pada daerah penelitian.

1. Bagaimana pengaruh serpentinisasi pada batuan di daerah penelitian ?
2. Bagaimana pengaruh serpentinisasi terhadap endapan nikel laterit di daerah penelitian ?
3. Apa saja jenis batuan dan komposisi mineral batuan yang menyusun daerah penelitian ?

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud diadakannya penelitian ini adalah untuk mengetahui serpentinisasi pada batuan ultramafik di daerah penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini di PT.KARYA ALAM ABADI sebagai berikut:

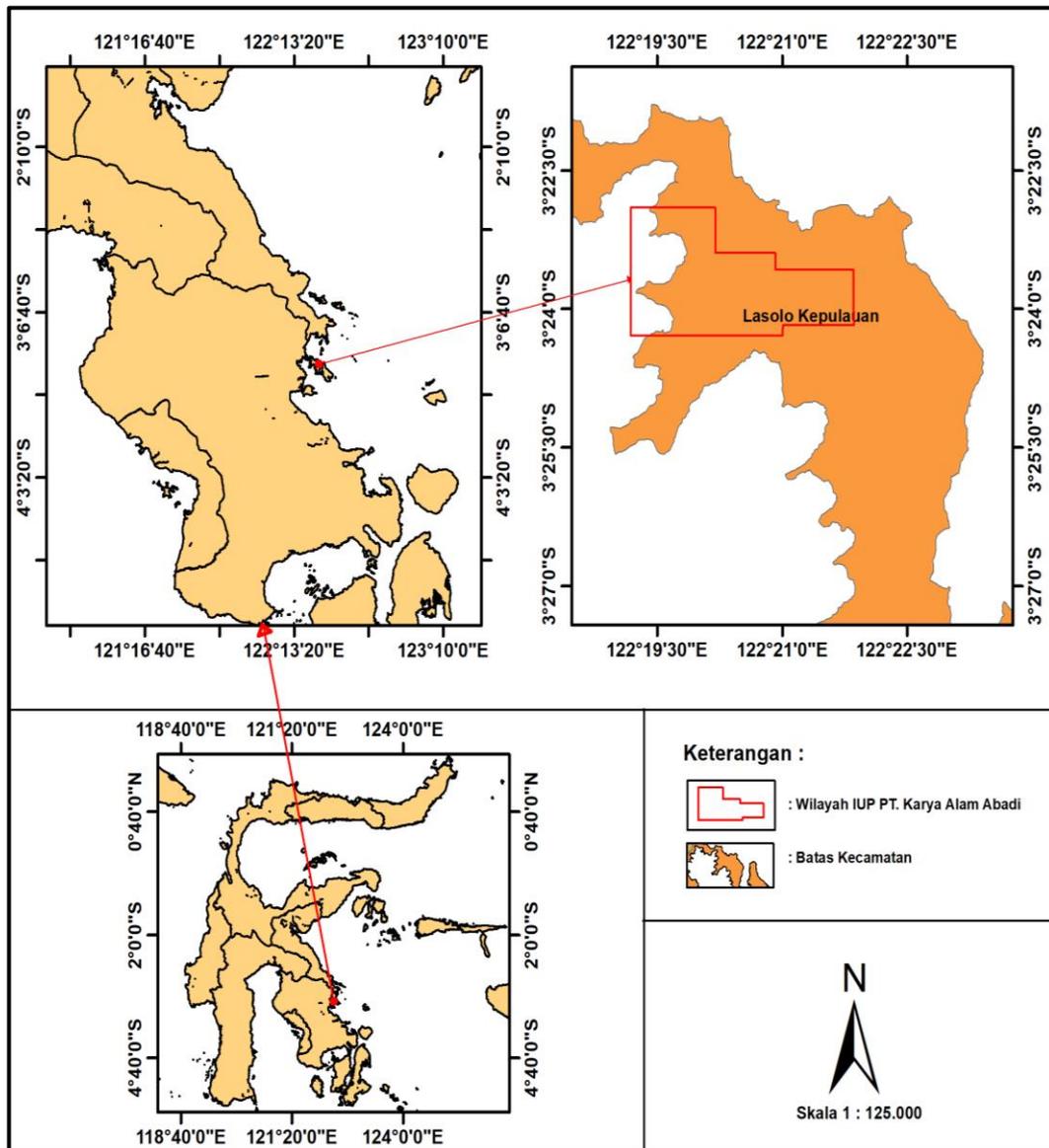
1. Mengetahui pengaruh serpentinisasi pada batuan di blok Y dan blok V daerah penelitian
2. Mengetahui pengaruh serpentinisasi terhadap endapan nikel laterit pada blok Y daerah penelitian
3. Mengetahui jenis batuan dan komposisi mineral batuan yang menyusun daerah penelitian ?

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini khusus dilakukan untuk mengetahui dan menganalisis jenis batuan dan serpentinisasi serta pengaruhnya terhadap kadar nikel laterit pada batuan PT. Karya Alam Abadi dengan melakukan analisis petrografi dan analisis *X-Ray Fluorescence*.

1.5 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan selama ± 2 bulan (Mei – Juli) di PT. KARYA ALAM ABADI. Secara administrasi lokasi penelitian berada di desa Waturambaha, Kecamatan Lasolo Kepulauan, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Perjalanan dari Kota Makassar menuju daerah ini dapat ditempuh melalui jalur udara menuju Kota Kendari dengan waktu tempuh ± 45 menit. Dari Kota Kendari menuju Site Waturambaha PT Karya Alam Abadi ditempuh dengan menggunakan jalur transportasi darat selama ± 7 jam.



Gambar 1.1 Peta Tunjuk Daerah Penelitian (Badan Informasi Geospasial, 2013)

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang dapat diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Manfaat untuk perusahaan yaitu penelitian ini diharapkan memberikan informasi tentang kondisi geologi pada daerah penelitian dan memberikan saran kegiatan eksplorasi nikel laterit berdasarkan karakteristik batuan dasar terutama melihat tingkat serpentinisasinya.

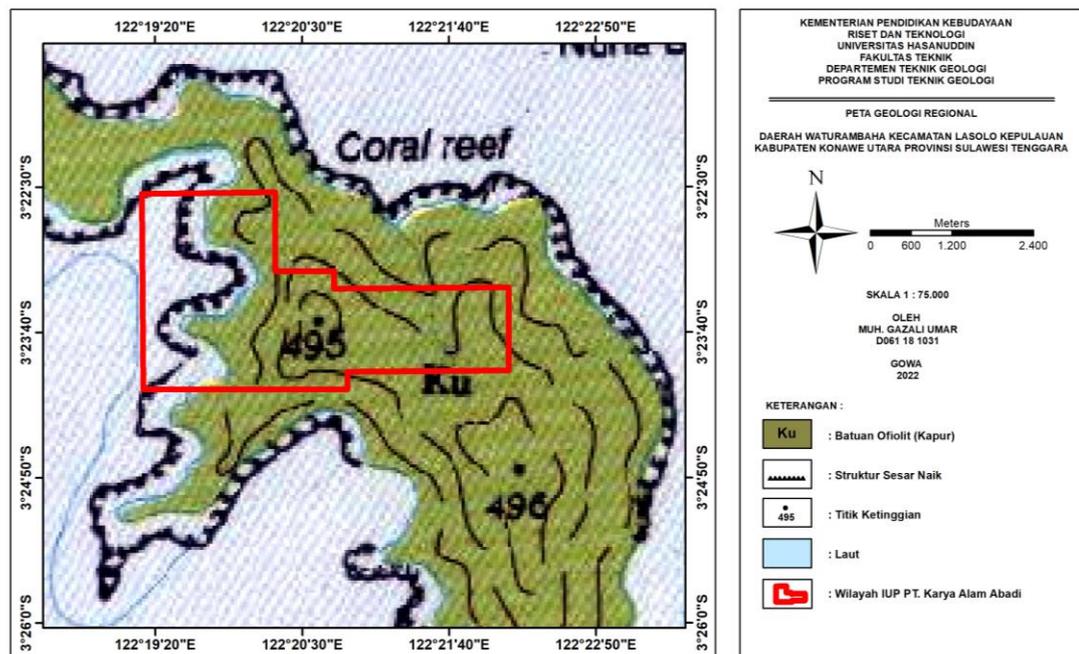
2. Manfaat untuk peneliti yaitu penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan dan dapat mengaplikasikan teori tentang serpentinisasi dalam eksplorasi nikel laterit

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Pembahasan geologi regional terdiri dari penjelasan mengenai stratigrafi dan struktur geologi regional. Pembahasan tersebut berdasarkan (Rusmana dkk., 1993) yang melakukan pemetaan geologi Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi dengan skala 1 : 250.000.



Gambar 2.1 Peta Geologi Regional Daerah Waturambaha & Sekitarnya (Rusmana dkk, 1993)

2.1.1 Stratigrafi Regional

Formasi batuan penyusun daerah penyelidikan yang termasuk dalam lembar Lasusua-Kendari yaitu termasuk dalam Formasi Kompleks Ultrabasa/Batuan Ofiolit

(Ku) terdiri atas peridotit, harzburgit, dunit, gabro dan serpentinit. Serpentinit berwarna kelabu tua sampai kehitaman; padu dan pejal. Batuannya bertekstur afanitik dengan susunan mineral antigorit, lempung dan magnetit. Umumnya memperlihatkan struktur kekar dan cermin sesar yang berukuran megaskopis. dunit, kehitaman; padu dan pejal, bertekstur afanitik. Mineral penyusunnya ialah olivin, piroksin, plagioklas, sedikit serpentin 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 mineral olivin dan piroksin, serpentin dan talk sebagai mineral pengganti. Peridotit terdiri atas jenis harzburgit dan lherzolit. harzburgit, hijau sampai kehitaman, holokristalin, padu dan pejal. Mineralnya halus sampai kasar, terdiri atas olivin (60%) dan piroksin (40%). Di beberapa tempat menunjukkan struktur perdaunan. Hasil penghabluran ulang pada mineral piroksin dan olivin mencirikan batas masing-masing kristal bergerigi. Lherzolite, hijau kehitaman; holokristalin, padu dan pejal. Mineral penyusunnya ialah olivin (45%), piroksin (25%), dan sisanya epidot, yakut, klorit, dan bijih dengan mineral berukuran halus sampai kasar. Satuan batuan ini diperkirakan berumur Kapur.

2.1.2 Struktur Geologi Regional

Struktur geologi Lembar Lasusua-Kendari memperlihatkan ciri kompleks tumbukan dari pinggir benua yang aktif. Struktur geologi yang dijumpai di daerah kegiatan adalah sesar dan kekar. Sesar dan kelurusan umumnya berarah

baratlaut–tenggara searah dengan Sesar geser jurus mengiri Lasolo. Sesar Lasolo aktif hingga kini, yang dibuktikan dengan adanya mata air panas di Desa Sonai, Kecamatan Pondidaha pada bijih nikel terumbu yang berumur Holosen dan jalur sesar tersebut di tenggara Tinobu. Sesar tersebut diduga ada kaitannya dengan Sesar Sorong yang aktif kembali pada Kala Oligosen (Rusmana 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 mengangan (dextral), mempunyai arah baratlaut-tenggara.

Kekar terdapat pada semua jenis batuan. Pada bijih nikel kekar ini tampak teratur yang membentuk kelurusan (Rusmana dkk, 1993). Kekar pada batuan beku umumnya menunjukkan arah tak beraturan.

2.2 Batuan Ultramafik

Sering kali batuan ultramafik disamakan dengan batuan ultrabasa padahal kedua terminologi tersebut berbeda. Batuan ultramafik adalah batuan yang memiliki komposisi kaya akan mineral mafik (ferromagnesian) sedangkan batuan ultrabasa adalah batuan yang memiliki komposisi silika kurang dari 45%

Batuan ini memiliki komposisi mineral olivin, piroksen, hornblenda, dan mika yang sangat tinggi. Batuan ultramafik berbeda dengan batuan ultrabasa. Kebanyakan batuan ultramafik merupakan batuan ultrabasa, namun tidak semua batuan ultrabasa merupakan batuan ultramafik karena ada beberapa batuan ultrabasa yang sedikit memiliki mineral ferromagnesian (Ahmad, 2006)

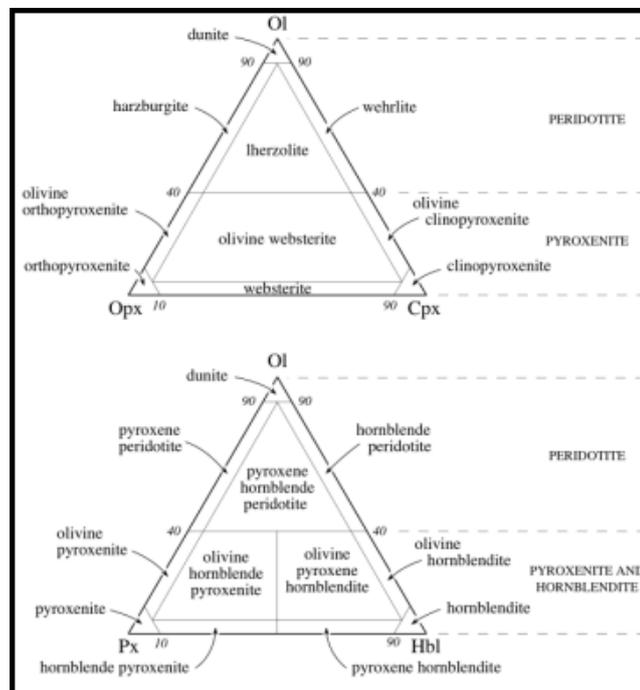
Perbandingan antara batuan ultramafik dengan ultrabasa dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Perbandingan batuan ultramafik dengan batuan ultrabasa (Ahmad, 2006).

Jenis Batuan	Batuan Ultramafik (Mafik > 70%)	Batuan Ultrabasa (Silika <45%)
Dunit	Mafik 100%	Silika 43%
Serpentin	Mafik 100%	Silika 43%
Harzburgit (50% olivin, 50% enstatit)	Mafik 100%	Silika 51%
Ortopiroksenit	Mafik 100%	Silika 60%
Anortosit	Mafik 100%	Silika 43%

Klasifikasi batuan ultramafik didasarkan pada kandungan mineral mafik yang terdiri dari olivin, ortopiroksen, klinopiroksen, hornblenda, terkadang biotit, dan sebagian kecil garnet dan spinel. Klasifikasi batuan menggunakan klasifikasi Streckeisen tahun 1976, pada bagian atas adalah untuk batuan yang memiliki komposisi olivin, klinopiroksen, dan ortopiroksen (Gambar 2.2). Sementara bagian bawah untuk batuan mengandung hornblenda, olivin, dan piroksen. Peridotit dibedakan dengan piroksenit oleh kandungan olivin >40%. Nilai ini dipilih atas dasar bahwa kebanyakan lerzolit mempunyai lebih dari 60% piroksen. Peridotit dibagi lagi menjadi dunit (atau olivinit jika mineral spinel berupa magnetit), harzburgit, lerzolit, dan werlit. Kelompok piroksenit dibagi atas ortopiroksenit, klinopiroksenit, dan websterit. Batuan ultramafik yang mempunyai kandungan garnet ataupun spinel harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Jika garnet atau spinel

kurang dari 5% menggunakan istilah garnet – bearing peridotite, chromite – bearing dunite, dan lain-lain. Jika presentasi garnet atau spinel lebih dari 5% gunakan istilah garnet peridotite , chromite dunite, dan lain-lain.



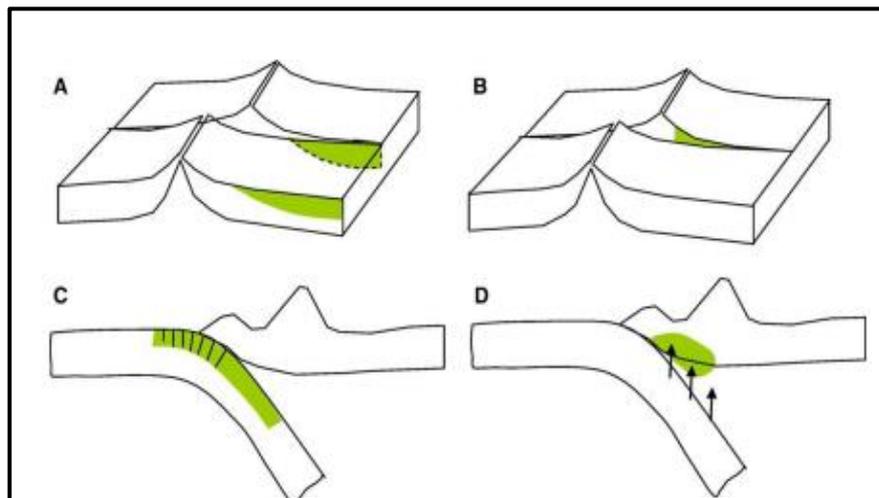
Gambar 2.2 Model klasifikasi batuan ultramafik berdasarkan presentase olivin (Ol), ortopiroksen (Opx), klinopiroksen (Cpx), piroksen (Px), dan hornblenda (Hbl)

2.3 Serpentinisasi Batuan Ultramafik

Serpentinisasi merupakan proses alterasi yang terjadi pada batuan ultramafik dimana batuan akan mengalami interaksi hidrotermal pada batas lempeng divergen lalu tersingkap dan mengalami berbagai macam proses yang dapat mengubah komposisiya termasuk interaksi dengan intrusi gabro (Escartin and Cannat, 1999), sirkulasi hidrotermal, dan pelapukan lantai samudera yang semua proses tersebut akan memodifikasi komposisi primer dari batuan tersebut.

2.3.1 Proses Serpentinisasi

Menurut Li dan Lee (2006) mekanisme serpentinisasi pada batuan peridotit yang berasal dari lapisan oceanik litosfer terdiri atas 4 kejadian. Pada (Gambar 2.3A) terjadi Infiltrasi air laut pada oceanik litosfer melalui rekahan oceanik. Pada gambar (2.3B) terjadi proses pelapukan pada batuan peridotit yang terjadi pada lingkungan laut, selanjutnya pada gambar (2.3C) proses infiltrasi air laut menyebabkan subduksi pada batuan peridotit, dan pada gambar (2.3D) terjadi proses dehidrasi dari zona subduksi yang diikuti oleh aliran fluida dari mantel atas. Deskripsi serpentinisasi melalui skenario “B” sebagai proses eksitu, sedangkan semua proses lainnya adalah proses insitu, yaitu serpentinisasi pada batuan peridotit yang sebagian besar terjadi di lapisan litosfer samudera..



Gambar 2.3 Mekanisme serpentinisasi peridotit menurut (Li dan Lee, 2006)

Genetik pembentukan serpentin, dapat disebabkan oleh kondisi dan lingkungan yang bekerja di lapangan :

- a. Proses hidrotermal metamorfosis dari kerak samudera Proses ini mungkin mekanisme yang paling umum untuk menghasilkan serpentin dalam

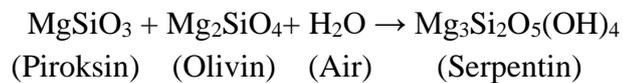
jumlah yang besar. Karena berasosiasi dengan subduksi melange dan jalur orogenik.

- b. Tektonik yang meliputi sesar dan zona kekar Sesar dan zona kekar menjadi salah satu akses yang mudah untuk terjadinya mekanisme hidrotermal.
- c. Serpentin sekunder dalam profil laterit. Meskipun jelas serpentin adalah hasil pembentukan dari proses hidrotermal, dengan temperatur lebih dari 200°C, serpentin ini juga bersifat sekunder berupa mineral serpentin yang berkembang pada lingkungan laterit (Ahmad, 2006).

Serpentinisasi pada prinsipnya merupakan proses alterasi hidrothermal retrograde batuan ultramafik seperti dunit, peridotit dan piroksinit atau proses metamorfisme prograde batuan serpentin yang telah ada (Deer dkk., 1992 dalam Sufriadin dkk., 2009). Reaksi yang mungkin dapat terjadi adalah sebagai berikut:



Atau dapat mengikuti reaksi seperti berikut (Medonald dan Fyfe, 1985 dalam Sufriadin dkk., 2009):



Besi dalam olivin mengalami redistribusi selama serpentinisasi. Sebagian memasuki struktur mineral serpentin atau brucite atau membentuk fasa mineral opak seperti magnetit, pentlandit dan Fe-kromit. Pembentukan magnetit berkorelasi terhadap peningkatan temperatur dengan fugasitas oksigen (FO₂) rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa pada temperatur rendah, substitusi Fe lebih cenderung terjadi pada brucite dan lizardit dari pada membentuk magnetit. Serpentin yang

banyak mengandung antigorit juga memiliki kandungan magnetit yang tinggi dibanding dengan serpentinit yang rata-rata mengandung lizardit-krisotil (Sufriadin, dkk, 2009).

Menurut Ahmad (2006) kelompok mineral olivin yaitu forsterite, chrysolite, dan fayalit sangat rentan terhadap perubahan oleh cairan hidrotermal dan proses pelapukan. Reaksi umum yang melibatkan hidrasi, silisifikasi, oksidasi, dan karbonasi. Produk alterasi pada umumnya adalah serpentin, klorit, amphibole, karbonate, oksida besi, dan talk. Umumnya ada beberapa faktor dalam alterasi hidrotermal yang menyebabkan perubahan olivin menjadi serpentin. Ada empat asal pembentukan serpentin, yaitu:

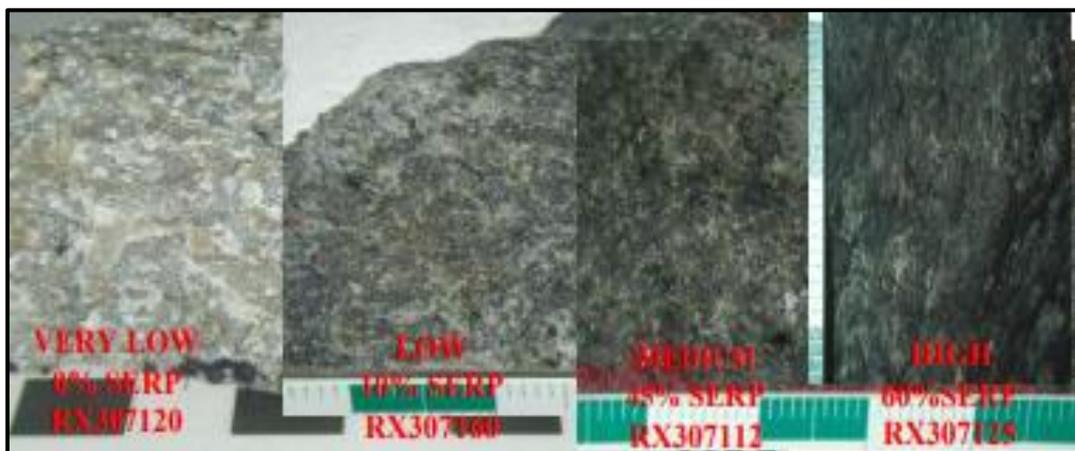
- a. Dalam kondisi yang stabil terbentuk krisotil dengan struktur berserabut.
- b. Dalam kondisi di bawah tekanan, terbentuk antigorite dengan struktur berlapis.
- c. Dalam kondisi tertentu, terbentuk serpophit dengan structureless. Proses serpentinisasi olivin membutuhkan sejumlah air, leaching dari magnesia (atau sejumlah silika) dan pelepasan besi (Mg,Fe) dalam olivin.
- d. Perubahan dari pengurangan besi dari ferrous menjadi ferri membentuk magnetit berbutir halus. Pada umumnya batuan yang terserpentinisasi 15 membentuk magnetit.

Alterasi dari olivin umumnya dimulai secara acak pada tempat yang mempunyai rekahan atau retakan dalam kristal-kristal. Pada akhirnya, seluruh kristal-kristal mungkin akan teralterasi dan mengalami penggantian tempat seperti membentuk pseudomorph yang merupakan hasil alterasi. Kehadiran zona

serpentinisasi berada pada dasar dari batuan ultrabasa. Proses hidrotermal menyebabkan peridotit berubah bentuk menjadi serpentin dengan ketebalan kurang dari 1 meter hingga lebih dari 100 meter.

2.3.2 Tingkat Serpentinisasi Pada Batuan Ultramafik

Penentuan tingkat serpentinisasi pada batuan ultramafik dapat dibedakan secara megaskopis dan mikroskopis. Secara megaskopis, Jacques (2002) membedakan batuan ultramafik grup peridotit berdasarkan persentase serpentin. Pada batuan yang tidak memiliki kandungan serpentin batuan akan cenderung lebih berwarna cerah dan hanya akan tampak mineral-mineral olivin dan piroksin. Sedangkan semakin tinggi kandungan mineral serpentin batuan akan cenderung berwarna lebih gelap (Gambar 2.4). Penentuan tingkat serpentinisasi secara mikroskopis dilihat berdasarkan persentase mineral serpentin maka terdapat 3 jenis terserpentinisasi, yaitu serpentinisasi kuat (mineral serpentin 55%-75%), serpentinisasi sedang (mineral serpentin 35%-50%), serpentinisasi lemah (mineral serpentin <15%)



Gambar 2.4. Tingkat Serpentinisasi Pada Batuan Peridotit Secara Megaskopis(Jacques,2002)

2.3.3 Karakteristik Mineralogi Serpentin

Istilah serpentin digunakan sebagai sebutan nama dari tiga kelompok mineral yaitu lizardit, krisotil, dan antigorit dengan rumus umum $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$. Mineral-mineral ini dicirikan oleh kilap sutra, permukaan agak licin, pecahan konkoidal, biasanya kompak namun juga bisa berbentuk granular atau berserabut. Umumnya berwarna hijau, kuning kehijauan, atau abu-abu kehijauan, hadir sebagai material pengisi rekahan atau bintik-bintik hijau dan putih (Bates dan Jackson, 1980 dalam Sufriadin dkk., 2009).

Salah satu jenis dari mineral serpentin adalah mineral lizardit yang merupakan bentuk paling umum dari serpentin. Secara mikroskopis, nampak berserat halus dan terasa. Struktur kisi terdiri dari susunan lapisan planar. Warna biasanya hijau terang sampai sedang tetapi cukup bervariasi karena adanya mineral lainnya (Ahmad, 2006).

Mineral antigorit umumnya terjadi pada kondisi prograde serpentin yang biasanya membentuk tekstur nonpseudomorfik. Seringkali terdapat sebagai urat pengisi rekahan (Wicks dan O Hanley, 1988). Pada umumnya antigorit menunjukkan warna hijau pucat atau abu-abu dan biasanya kurang porous dibanding dengan kelompok serpentin lainnya. Warna antigorit juga ditentukan oleh hadirnya mineral lain terutama magnetit.

Krisotil merupakan kelompok serpentin yang kelimpahannya paling kecil. Mineral ini mudah dikenal karena memiliki struktur fibrous dan umumnya terbentuk pada kondisi metamorfisme prograde sedang yang berasosiasi dengan endapan asbes (Wicks dan O Hanley, 1988). Krisotil pada batuan metamorfik

terserpentinkan biasanya berwarna hijau, namun warnanya kuning pucat jika terdapat pada dolomit terserpentinkan karena krisotil sedikit atau tidak mengandung besi. Krisotil dibedakan menjadi tiga tipe berdasarkan struktur kristalnya yaitu ortokrisotil, parakrisotil dan klinokrisotil. Ortokrisotil dan parakrisotil memiliki 18 struktur ortorombik sedangkan klinokrisotil adalah monoklin.

Tabel 2.3. Generalisasi kondisi pembentukan polymorph serpentin (Evans, 2004)

	Lizardit	Krisotil	Antigorit
Perkiraan Temperatur	50 – 300°C	0 – 400°C	320 – 600°C
Saturasi Fluida	Kecil	Besar	Kecil
Shear Stress	Stabil	Tidak stabil	Stabil
Konsep Pembentukan	Hidrasi peridotit	Vein dan replacement	Rekristalisasi serpentininit

2.3.4 Tesktur Serpentinisasi

Schwartz membagi tingkat serpentinisasi berdasarkan tekstur batuan serpentininit. Tekstur bastite mencirikan tingkat serpentinisasi derajat rendah dengan suhu 200-300 °C dengan tekanan < 4 kbar, tekstur *mesh* mencirikan tingkat serpentinisasi derajat rendah dengan suhu 320-360 °C dengan tekanan 4- 11 kbar, tekstur hourglass mencirikan tingkat serpentinisasi derajat sedang dengan suhu 340-390°C dengan tekanan 10-12 kbar, tekstur blades mencirikan tingkat serpentinisasi derajat tinggi dengan suhu dan tekanan tinggi (> 380°C) dengan tekanan 12 kbar. (Tabel 2.4).

Tabel 2.4. Klasifikasi Tekstur Serpentinisasi Menurut Schwartz

Tekstur	Perkembangan mineral	Mineral	Kondisi Pembentukan (Shwartz, 2012)
<i>Bastite</i>	Umumnya Ortopiroksen yang terserpentinisasi pada awal serpentinisasi	Umumnya Lizardit dan mineral Piroksen	Awal metamorfisme dengan suhu 200 -300 °C dengan tekanan < 4 kbar
<i>Mesh</i>	Olivin / ortopiroksen pada serpentinisasi awal dan <i>sea and island</i>	Umumnya Lizardit dengan <i>outline</i> Krisotil dan Magnetit	Awal metamorfisme dengan suhu 320 – 360°C dengan tekanan 4 – 11 kbar
<i>Hourglass</i>	Perkembangan lanjut dari <i>sea and island</i>	Lizardit mulai berkurang dan tergantikan oleh mineral Antigorit dengan <i>outline</i> mineral Magnetit, mineral Klorit mulai tumbuh	Metamorfisme lanjutan dengan suhu 340 – 390°C dengan tekanan 10 - 12 kbar
<i>Blades / Flaky</i>	Merupakan perkembangan lanjutan dari <i>sea and island</i> , yaitu <i>Oceanic Island</i>	Antigorit mulai mendominasi dengan, dengan alterasi mineral Klorit menjadi <i>outline</i> mulai menggantikan mineral Magnetit,	Terbentuk pada suhu dan tekanan tinggi (> 380°C) dengan tekanan 12 kbar
<i>Vein / Veinlet</i>		- Sebagian besar krisotil. Lizardit, krisotil, dan kalsit ditemukan setempat	Terbentuk dalam berbagai kondisi

Menurut Wicks dan Whittaker (1977) tekstur serpentin yang diamati pada sayatan tipis dapat dibagi menjadi 3 jenis yaitu tekstur pseudomorf olivin dan piroksen, tekstur non pseudomorf terbentuk dari mineral primer maupun dari tekstur pseudomorf serpentin, dan tekstur yang terbentuk pada vein serpentin.

2.3.4.1 Tekstur Pseudomorfik

Tekstur yang terbentuk dari serpentinisasi mineral pada batuan ultramafik yang mana masih memperlihatkan tekstur dari mineral asal, ketika sudah

mengalami serpentinisasi lanjut, maka akan berubah menjadi tekstur non pseudomorfik. Olivin berubah sepanjang rekahan dan batas kristal membentuk tekstur mesh dan hourglass. Melalui pengamatan X-ray dapat diketahui bahwa tekstur dari olivin tersebut menghasilkan mineral lizardit dengan sedikit krisotil, brusit, dan aksesori magnetit. Sementara itu pseudomorf serpentin pada piroksen (biasanya enstatit) disebut bastit / bastite menurut (Haidinger, 1845 dalam Wicks dan Whittaker, 1977). Istilah tersebut juga diaplikasikan untuk amfibol yang terserpentinisasi (Hochstetter, 1965 dalam Wicks dan Whittaker, 1977). Serpentinisasi piroksen dimulai pada batas butir dan rekahan, kemudian pada belahanya. Klinopiroksen lebih susah terserpentinisasi dibanding dengan ortopiroksen. Menurut penelitian, tekstur ini tersusun atas dominasi mineral lizardit dengan sedikit brusit. Pada batuan peridotit terserpentinisasi, tekstur bastit berasosiasi dengan mesh. Tekstur pseudomorfik dikelompokkan menjadi empat tekstur yaitu:

1. Tekstur Bastit (Bastite Texture)

Tekstur bastit merupakan tekstur pseudomorf, dimana masih menunjukkan tekstur dari mineral asal ortopiroksen (biasanya enstatit). Serpentin yang bertekstur pseudomorf ini terdiri atas lizardit dan atau krisotil yang menggantikan mineral tersebut tanpa merubah bentuk mineral awal (Evans, 2004). Tektur bastit ini merupakan penciri tahapan awal dari proses serpentinisasi pada lantai samudra.

2. Tekstur Jaring (*Mesh Texture*)

Tekstur ini merupakan tekstur yang sangat sering ditemukan pada sayatan serpentinit. Tekstur ini merupakan serpentinisasi lanjut dari tekstur pseudomorf mesh pada olivin, sehingga pergantian mineral sisa olivin/ortopiroksen oleh serpentin susah untuk diketahui tekstur mineral asal.

Berdasarkan Schwartz tahun 2012, tekstur *mesh* ini merupakan hasil dari reaksi antara mineral olivin dengan air yang akan menghasilkan mineral serpentin dengan tekstur mesh dengan mineral magnetit sebagai isian dari jaring-jaring tersebut serta mineral brusit sebagai hasil alterasi dari mineral ortopiroksin.

3. Tekstur Jam kaca (*Hourglass Texture*)

Tekstur ini dihasilkan oleh proses yang sama dari tekstur *mesh* dan diperkirakan perkembangan lanjut dari tekstur *mesh*. Perbedaannya adalah tekstur ini tidak mempunyai inti kernel. Maka pada bagian tengah akan tergantikan oleh pinggiran dari kernel dan menghilangkan bentuk dari butiran mineral sebelumnya. Tekstur ini umumnya memperlihatkan bentuk pola piramid/kerucut yang ujungnya mengarah ke inti.

4. Tekstur Pedang (*Blades Texture*)

Tekstur *blades* atau biasa juga disebut dengan tekstur *flaky* ini merupakan tekstur yang sangat sering ditemukan pada sayatan serpentinit khususnya pada mineral serpentin dengan jenis antigorit. Tekstur ini merupakan hasil dari pertumbuhan mineral antigorit yang menggantikan mineral lizardit. Textur ini menunjukkan tingkat serpentinisasi yang tinggi. Merujuk pada Schwartz tahun

2012, tesktur ini terjadi pada tingkat serpentinisasi yang tinggi dengan tekanan 10 kbar samapai lebih dari 12 kbar dengan suhu berkisar antara 340°C sampai lebih dari 380°C.

2.3.4.2 Tekstur Non Pseudomorf

Tekstur ini adalah xenoblastik dan terbentuk melalui rekristalisasi dari tekstur pseudomorf atau langsung dari serpentinisasi olivin dan piroksen. Tekstur ini dapat dibagi menjadi 2 yaitu interlocking dan interpenetrasi. Pada tekstur non pseudomorfik, brusit lebih mudah dikenal sebagai mineral anhedral diskrit. Tektsturinterpenetrasi terdiri atas *blades*, *flakes*, atau *plates* yang membentuk kemas yang rapat. Tekstur ini terdiri atas dominasi mineral antigorit. Sementara tekstur interlocking terdiri atas tekstur irregular, equant, dan terkadang butiran yang *spherulitic*.

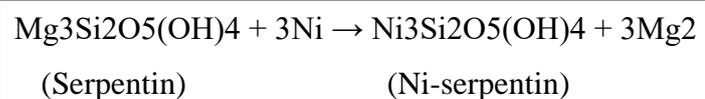
2.3.4.3 Tekstur Vein Serpentin

Vein serpentin sepanjang rekahan, shear, dan bidang kekar dapat ditemukan pada serpentininit derajat tinggi dan rendah. Rekahan tersebut dapat membaji maupun bercabang, dan apabila tergeruskan, akan memperlihatkan arah gerusan dan slickensides. Serpentininit yang tergeruskan kuat disebut *fish scale* atau *fish meat* (Cooke, 1973 dalam Wicks dan Whittaker 1977). Jenis ini jarang diamati pada sayatan tipis maupun megasokpis karena sifatnya yang sangat mudah hancur. Vein pada serpentininit biasanya berwarna hijau karena magnetit yang berasosiasi tersegregasi dalam bentuk butiran yang menyebar.

2.3.5 Implikasi Serpentin Terhadap Nikel Laterit

Secara umum batuan dasar penghasil tanah laterit merupakan batuan-batuan ultramafik dimana batuan yang rendah akan unsur Si, namun tinggi akan unsur Fe, Mg dan terdapat unsur Ni yang berasal langsung dari mantel bumi. Kehadiran mineral serpentin pada batuan ultramafik menjadi suatu peranan penting dalam pembentukan karakteristik tanah laterit yang ada terutama pada pengayaan unsur logam Ni pada tanah laterit. Proses serpentinisasi akan menyebabkan perubahan tekstur mineralogi dan senyawa pada mineral olivin maupun piroksin pengurangan atau perubahan komposisi unsur Mg, Ni, dan Fe pada mineralnya (Kurniadi dkk., 2017).

Menurut Sufriadin dkk., (2009) tingkat serpentinisasi akan berkorelasi dengan warna batuan, semakin tinggi tingkat serpentinisasi, warna batuan semakin gelap. Hal ini disebabkan karena pembentukan mineral serpentin juga disertai dengan pembentukan mineral opak terutama magnetit. Tekstur batuan semakin halus dengan meningkatnya derajat serpentinisasi. Pengayaan nikel pada zona saprolit terjadi dimana unsur Ni mensubstitusi atom Mg pada struktur oktahedral mineral serpentin dan smektit atau juga dapat terpresipitasi pada rekahan bersama larutan yang mengandung Mg dan Si membentuk Ni-serpentin (garnierit). Reaksi pertukaran ion Ni dan Mg pada mineral serpentin dapat terjadi akibat adanya aktifitas air tanah dengan persamaan reaksi berikut:



Nikel laterit berdasarkan mineralogi kandungan nikelnya terdiri atas nikel oksida, nikel hidrosilikat, dan nikel lempung silikat. Menurut Ahmad (2001) pada

nikel hidrosilikat, nikel menggantikan atom Mg dalam mineral serpentin, talk dan klorit. Nikel murni dan anggotanya tidak ada di alam dan kebanyakan nikel hidrosilikat mengandung (Ni, Mg) sebagai pengganti Mg. Garnierit digunakan sebagai istilah lapangan dari semua tipe hidro nikel-magnesia silikat dengan contoh populer adalah krisopras (silika hijau).

2.4 Endapan Laterit

Laterit deposit atau endapan laterit diartikan sebagai hasil dari proses pelapukan yang intensif di daerah tropis dan kaya akan mineral lempung yang bersifat kaolinitik serta Fe dan Al oksida/hidroksida. 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 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 saprolite yang merupakan zona pelapukan tinggi dimana tekstur primer dan fabrik dari batuan asalnya masih dapat dilihat. Akibat fluida yang bersifat *oxidized* dan

asam, maka bagian paling bawah dari zona ini dicirikan dengan tidak stabilnya sulfida dan karbonat dengan hasil pencucian atau *leaching* dari logam-logam chalcopyrite 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)

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)

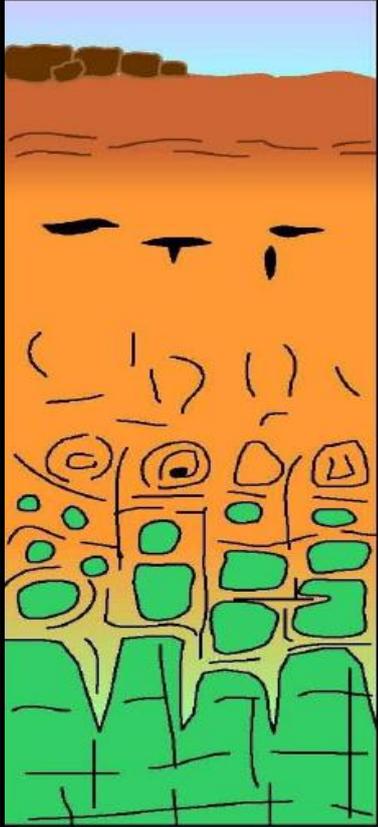
Sifat fisik zona *Medium Grade Limonite* (MGL) tidak jauh berbeda dengan zona *overburden*. Tekstur sisa batuan induk mulai dapat dikenali dengan hadirnya fragmen batuan induk, yaitu peridotit atau serpentinit. Rata-rata berukuran antara 1-2 cm dalam jumlah sedikit. Ukuran material penyusun berkisar 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 inti 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 2.5 Generalisasi profil laterit (Elias,2005)

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 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) 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

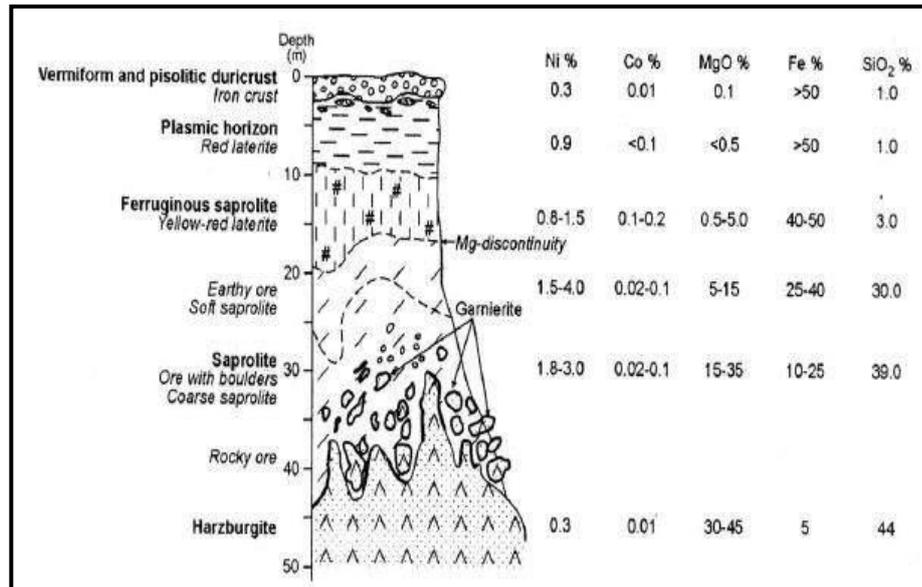
2.7 Mineralogi Endapan Nikel Laterit

Secara mineralogi Nikel Laterit dapat dibagi dalam tiga kategori yaitu (Brand et al, 1998):

1. *Hydrous silicate deposits*

Pada endapan tipe *hydrous silicate* bagian bawah zona saprolit (horizon bijih) didominasi oleh mineral-mineral hydrous Mg-Ni silikat (**Gambar 2.6**) setempat pada zona saprolit, urat-urat halus atau box-work dapat terbentuk. Rekahan dan batas-batas antar butir dapat terisi oleh mineral silikat dan mineral yang kaya dengan nikel. Sebagai contoh garnet dapat memiliki kandungan nikel sampai dengan 40%. Nikel akan mengalami pelindian dan limonit pada

fase *Fe-oxihydroxide* akan bergerak turun ke bawah sebelum terendapkan kembali sebagai *Hydrous Silicate* mineral atau menggantikan dalam ubahan serpentinit. Pengkayaan Ni melalui proses supergen ini sangat penting untuk pembentukan endapan *Hydrous Silicate* pada kadar yang ekonomis.



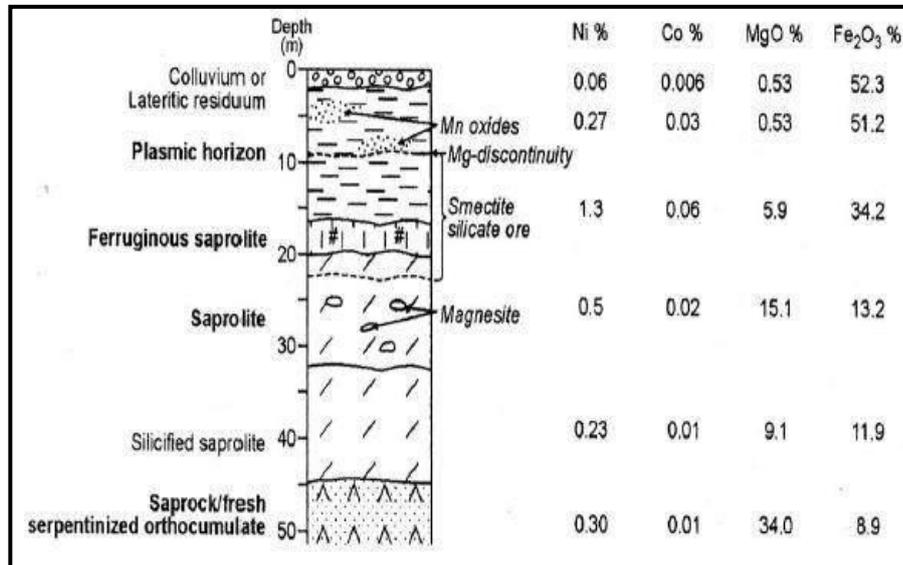
Gambar 2.6 Profil Nikel Tipe *Hydrous Silicate* (Freysnet et al, 2005)

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

2. *Clay silicate deposits*

Silika (Si) dari profil laterit, hanya sebagian yang terlindungi oleh air tanah. Silika yang tersisa bersama-sama dengan Fe, Ni, dan Al membentuk mineral lempung seperti Ni-rich nontronite pada bagian tengah sampai dengan bagian atas zona saprolit. Serpentin yang kaya dengan nikel juga bisa digantikan (teralterasi) oleh smektit pada bagian yang kontak dengan air tanah sehingga larutan-larutan yang terbentuk menjadi jenuh dengan mineral-mineral lempung

ini (**gambar 2.7**). Secara umum, kadar nikel rata-rata pada tipe endapan ini lebih rendah dibandingkan dengan tipe Hydrated Silicate.

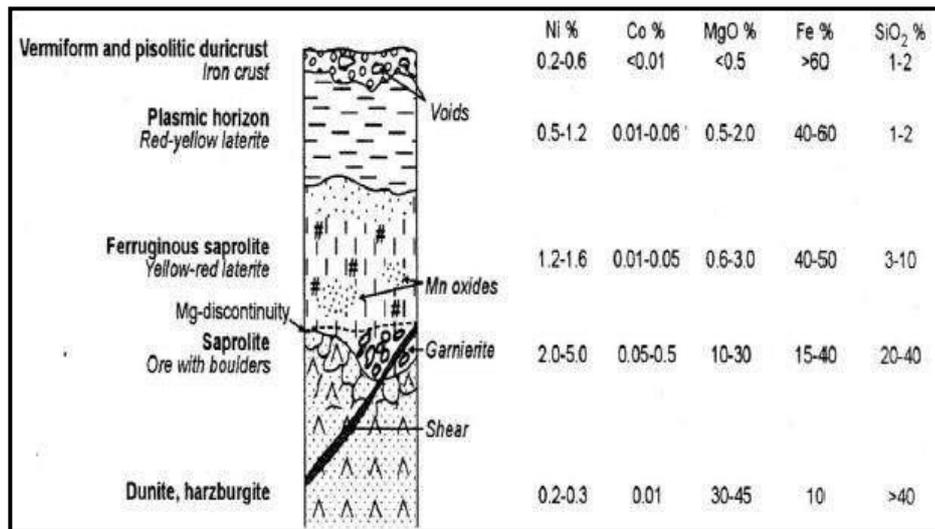


Gambar 2.7 Profil Nikel Tipe Clay Silicate (Freysnet et al, 2005).

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

3. Oxide deposits

Oxide deposit dikenal juga dengan nama endapan limonit, dimana nikel berasosiasi dengan Fe-oxihydroxide, dengan mineral utama goetit. Terkadang juga kaya dengan oksida Mn yang kaya dengan Co. Kadar Ni rata-rata pada tipe endapan ini lebih rendah 1.0-1.6%, sehingga memiliki nilai ekonomis yang kurang baik. Pada endapan tipe oxide deposit posisi muka air tanah awal relatif dangkal dan drainasenya tidak terhambat (infiltrasi air lancar) sehingga Ni lebih banyak terakumulasi pada zona limonit sampai saprolit bagian atas.



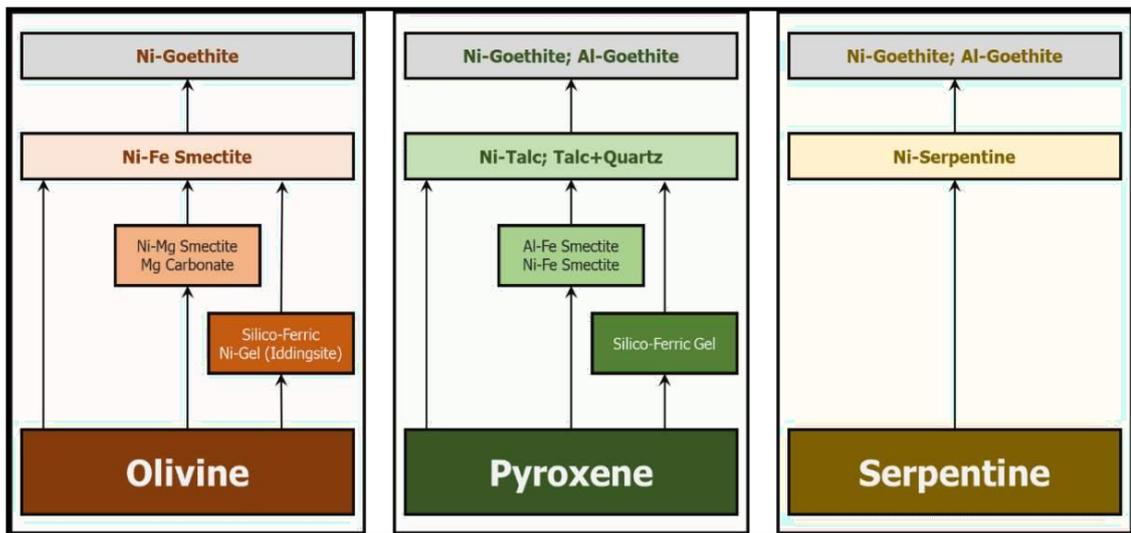
Gambar 2.8 Profil Nikel Tipe Oxide Deposits (Freyssnet et al, 2005).

Tabel 2.5 Parameter Perbedaan Endapan Nikel Laterit (Freyssnet et al, 2005).

Parameter	<i>Hydrous Silicate Deposit</i>	<i>Clay Silicate Deposit</i>	Oxide Deposit
Kadar Ni	Kandungan Ni 1.8-2.5 %	Kandungan Ni 1.0-1.5%	Kandungan Ni 1.0-1.6%
Mineral	Terdapat Silika <i>box-work</i>	Si bersama dengan Fe, Ni, dan Al membentuk mineral lempung	Mineral utamanya <i>Goethite</i>
Posisi Muka air tanah	Posis muka air tanah relatif dalam	Posisi muka air tanah awal relatif lebih rendah dan drainase terhambat.	Posisi muka air tanah relatif dangklat Drainasenya tidak terhambat
Akumulasi Ni	Nikel lebih banyak terakumulasi pada zona saprolit bagian Bawah	Lapisan limonit lebih sering terendam air sehingga terbentuk lapisan lempung	Ni lebih banyak terakumulasi pada zona limonit sampai saprolit bagian atas.

Mineral-mineral primer pada batuan ultramafik (bedrock) dapat menghasilkan mineral sekunder, sebagai berikut (Nahon, et al., 1992):

1. Olivin menjadi Krisotil, Magnetit, Saponit, Nontronit, Silika, Amorf dan Goetit.
2. Piroksin menjadi Talk, Smektit dan Goetit.
3. Serpentin menjadi Smektit dan Goetit.



Gambar 2.9 Skema transformasi mineral akibat pelapukan batuan dasar (batuan ultramafik) (Nahon, et al., 1992)

Rangkaian pembentukan mineral sekunder selama proses pembentukan laterit berbeda dengan mineral primer. Pelapukan kimia yang terjadi pada olivin dan piroksen lebih kompleks dari pada serpentin. Hal ini disebabkan tekstur serpentin yang lebih halus dan komposisi kimia yang lebih homogen dari pada olivin dan piroksen (Nahon, et al., 1992)