

SKRIPSI

SERPENTINISASI PADA BATUAN ULTRAMAFIK SERTA IMPLIKASINYA TERHADAP KADAR BIJIH NIKEL PADA PENAMBANGAN BIJIH NIKEL LATERIT BUKIT X PT. ANTAM Tbk UBPN KOLAKA

Disusun dan diajukan oleh

**SRI HARIANTI ANUGRAH
D061 19 1083**



**DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

SERPENTINISASI PADA BATUAN ULTRAMAFIK SERTA IMPLIKASINYA TERHADAP KADAR BIJIH NIKEL PADA PENAMBANGAN BIJIH NIKEL LATERIT BUKIT X PT. ANTAM Tbk UBPN KOLAKA

Disusun dan diajukan oleh :

SRI HARIANTI ANUGRAH

D061 19 1083

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada Tanggal 4 April 2024
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

Dr. Ir. Musri Ma'waleda, M. T
NIP. 19611231 198903 1 019

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

Ketua Departemen Teknik Geologi

Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin



Dr. Eng Hendra Pachi, S.T., M.Eng.
NIP. 197712142005011002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Sri Harianti Anugrah
 NIM : D0611910183
 Program Studi : Teknik Geologi
 Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:
Serpentinisasi Pada Batuan Ultramafik Serta Implikasinya Terhadap Kadar Biji Nikel Pada Penambangan Biji Nikel Laterit Bukit X PT. Antam Tbk UBPN Kolaka

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

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

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

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

Gowa, Maret 2024

Yang Menyatakan


 Sri Harianti Anugrah



ABSTRAK

SRI HARIANTI ANUGRAH. *Serpentinisasi Pada Batuan Ultramafik Serta Implikasinya Terhadap Kadar Bijih Nikel Pada Penambangan Bijih Nikel Laterit Bukit X PT. Antam Tbk UBPN Kolaka*, dibimbing oleh Dr. Ir. Musri Ma'waleda., M.T. dan Prof. Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T

Secara administratif daerah penelitian termasuk kedalam Daerah kawasan tambang PT. Antam Tbk UBPN Kolaka yang terletak di Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan tingkat serpentinisasi batuan ultramafik daerah penelitian, perbandingan kadar bijih nikel laterit pada mineral lizardit dan mineral antigorit di daerah penelitian dan seberapa besar pengaruh mineral serpentin terhadap kualitas produksi bijih nikel laterit pada daerah penelitian. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah pengambilan data lapangan, analisis petrografi, dan analisis geokimia (*X-Ray Fluorescence*)

Hasil Analisis petrografis pada batuan ultramafik daerah penelitian didapatkan mineral olivin, *orthopyroxene*, *clinopyroxene*, opaq dan mineral serpentin dengan tingkat serpentinisasi tergolong kedalam tingkat serpentinisasi sedang-tinggi. Berdasarkan hasil analisis *X-Ray Fluorescence* pada mineral serpentin, didapatkan mineral lizardit cenderung lebih banyak mengakomodasi Ni dibanding mineral antigorit pada zona saprolit maupun pada zona *saprolite supergent enrichment*. Berdasarkan tingkat serpentinisasi serta nilai kadar Ni pada batuan ultramafik yang kemudian dikorelasikan dengan kadar Ni mineral serpentin pada zona saprolit, tingkat serpentinisasi sedang mengakomodasi Ni lebih banyak dibanding tingkat serpentinisasi tinggi. Mineral serpentin dengan tingkat serpentinisasi tinggi akan merubah hampir seluruh mineral primer menjadi mineral serpentin yang menyebabkan area sekitar mineral serpentin berderajat tinggi memiliki kadar Ni yang rendah,

Kata Kunci : *Batuan Ultramafik, Geokimia, Nikel Laterit, Petrografis, Pomalaa.*

Serpentinisasi



ABSTRACT

SRI HARIANTI ANUGRAH. *Serpentinization in Ultramafic Rocks and Implications for Nickel Ore Content in Laterite Hill X Nickel Ore Mining PT. Antam Tbk UBPN Kolaka, supervised by Dr. Ir. Musri Ma'waleda., M.T. and Prof. Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T*

Administratively, the study area is included in the Mining Area PT. Antam Tbk UBPN Kolaka which is located in Pomalaa District, Kolaka Regency, Southeast Sulawesi Province. This study aims to determine the characteristics and level of serpentinization of ultramafic rocks in the research area, the comparison of laterite nickel ore levels in lizardite minerals and antigorite minerals in the research area and how much influence serpentine minerals have on the quality of laterite nickel ore production in the research area. The methods used in this research are field data, petrographic analysis, and geochemical analysis (X-Ray Fluorescence)

The results of petrographic analysis of ultramafic rocks in the research area showed that the minerals olivine, orthopyroxene, clinopyroxene, opaq and serpentine minerals with serpentinization levels were classified as medium-high serpentinization levels. Based on the results of X-Ray Fluorescence analysis on serpentine minerals, it was found that lizardite minerals tend to accommodate more Ni than antigorite minerals in the saprolite zone and in the saprolite supergent enrichment zone. Based on the level of serpentinization and the value of Ni content in ultramafic rocks which is then correlated with the Ni content of serpentine minerals in the saprolite zone, medium levels of serpentinization accommodate more Ni than high levels of serpentinization. Serpentine minerals with a high degree of serpentinization will change almost all primary minerals into serpentine minerals which causes the area around the high degree of serpentine minerals to have low Ni levels.

Keyword: Ultramafic Rocks, Geochemistry, Nickel Laterite, Petrographic, Pomalaa, Serpentinization



KATA PENGANTAR

Puji syukur patut dipanjatkan kehadirat Tuhan yang Maha Esa yang senantiasa memberikan limpahan kasih dan berkat, sehingga penyusunan tugas akhir dengan judul “Serpentinisasi pada Batuan Ultramafik serta Implikasi Terhadap Kadar Bijih Nikel pada Penambangan Bijih Nikel Laterit pada Bukit X PT. Antam UBPN Kolaka” bisa berjalan dengan lancar tanpa ada halangan suatu apapun. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membimbing, mengarahkan dan membantu penulis baik berupa bantuan moril maupun material dalam penyusunan, khususnya kepada:

1. Kedua Orang Tua penulis, yang tidak henti-hentinya memberikan penulis segala bentuk dukungan, baik berupa dukungan moril ataupun material.
2. Bapak Dr. Ir. Musri Ma'waleda, M.T. sebagai dosen pembimbing utama dalam penyusunan tugas akhir ini dan terima kasih atas segala bimbingannya dalam memberikan arahan dan masukan.
3. Bapak Prof. Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T sebagai dosen pembimbing pendamping dalam penyusunan tugas akhir ini dan terima kasih atas segala bimbingannya dalam memberikan arahan dan masukan.
4. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T.,M.Eng selaku Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah yang telah meluangkan waktunya serta memberikan bimbingan dalam penyusunan proposal ini.
5. Bapak dan Ibu Dosen pada Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin atas segala bimbingan dan nasehatnya selama saya menempuh pendidikan perkuliahan.
6. Bapak dan Ibu staf Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya dalam pengurusan administrasi penelitian.
7. PT. Antam Tbk UBPN Kolaka yang telah memberikan kesempatan untuk menimba ilmu serta kesempatan bagi penulis untuk melaksanakan pengambilan data tugas akhirpada daerah IUP PT. Antam Tbk UBPN Kolaka.



8. Bapak Angga Dewan Taryana selaku *Quality Control Manager* yang telah memberikan izin penulis melakukan kegiatan pengambilan data tugas akhir di lingkup kerja *Quality Control*.
9. Bapak Tamsil Indra Gunawan S.T., selaku *Ore Quality Assurance Departemen Head*, yang banyak memberikan masukan dalam penyusunan skripsi ini.
10. Bapak Mulhaldramy, S.T., dan Bapak Arie Junanto Sudarso, S.T., selaku pembimbing kegiatan pengambilan data tugas akhir yang telah memberikan arahan serta masukan selama penyusunan skripsi ini.
11. Ibu Islamiah, S.E, selaku *Sample Preparation Cordinator Team Leader* yang telah banyak memberikan arahan pada saat proses preparasi sampel dan proses penyusunan tugas akhir.
12. Bapak Ismail Jaya, selaku admin OQA yang sangat membantu dalam operasional kelapangan saat pengambilan data maupun pengurusan administrasi.
13. Seluruh pengawas beserta tim *Quality Control* dan tim Pomalaa *Mining* yang telah memberikan arahan, masukan, dan ilmu yang bermanfaat selama penulis melakukan pengambilan data tugas akhir dan penyusunan skripsi.
14. Novia Angraini, yang telah menemani penulis saat pengambilan data lapangan.
15. Aldhy Wahyudin Yusuf, yang telah membantu selama pengerjaan laporan serta telah memberikan saran kepada penulis dalam pengerjaan laporan ini.
16. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Geologi Universitas Hasanuddin 2019 yang telah banyak membantu selama penyusunan proposal usulan penelitian ini.
17. Himpunan Mahasiswa Geologi FT-UH yang telah banyak memberikan pembelajaran selama menjadi Mahasiswa.
18. Berbagai pihak yang penulis tidak dapat sebutkan satu persatu, atas segala bantuan maupun dorongan yang diberikan selama ini. Terima kasih untuk uluran tangan dan kerendahan hati yang kalian miliki



dalam menyusun dan merancang proposal ini, kami menyadari ya bahwa proposal ini memiliki banyak kekurangan. Oleh karenanya,

berbagai bentuk kritik dan saran yang membangun sangat kami harapkan. Semoga proposal ini bermanfaat khususnya bagi para pembaca.

Gowa, Mei 2024

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	2
1.5. Ruang Lingkup Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Geologi Regional	4
2.1.1. Geomorfologi Regional	4
2.1.2. Stratigrafi Regional.....	5
2.1.3. Struktur Geologi Regional	6
2.2. Batuan Ultramafik	8
2.3. Serpentinisasi.....	9
2.3.1. Tingkat Serpentinisasi pada Batuan Ultramafik	11
2.3.2. Karakteristik Mineralogi Serpentin	12
2.3.3. Tekstur Serpentinisasi	14
lapan Nikel Laterit.....	18
1. Profil Endapan Nikel Laterit.....	19
2. Faktor Pembentukan Nikel Laterit.....	20



2.5. Implikasi Serpentin Terhadap Nikel Laterit	22
BAB III METODE PENELITIAN.....	24
3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian	24
3.2. Variabel Penelitian.....	25
3.3. Alat dan Bahan	25
3.4. Metode Penelitian	26
3.5. Tahap Penelitian	26
3.5.1. Tahap Persiapan	26
3.5.2. Tahap Pengambilan Data	27
3.5.3. Tahap Pengolahan Data.....	28
3.5.4. Analisis Petrografi	35
3.5.5. Analisis XRF (<i>X-Ray Fluorescence</i>)	35
3.6. Tahap Penyusunan Laporan.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1. Geomorfologi Daerah Penelitian	37
4.2. Karakteristik Batuan Ultramafik Daerah Penelitian.....	38
4.2.1. Satuan Peridotit.....	39
4.2.2. Hasil Analisis Petrografi Batuan pada Daerah Penelitian	47
4.2.3. Analisis Geokimia Pada Singkapan Batuan.....	48
4.3. Karakteristik Mineral Serpentin	49
4.3.1. Karakteristik Mineral Serpentin pada Daerah Penelitian	50
4.3.2. Analisis Geokimia Mineral Serpentin pada Daerah Penelitian	53
4.4. Pengaruh Tingkat Serpentinisasi pada Batuan Ultramafik Terhadap Kadar Endapan Nikel Laterit.....	56
BAB V PENUTUP.....	60
5.1. Kesimpulan.....	60
5.2. Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	62



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Bagian Selatan Lengan Tenggara Sulawesi dari citra IFSAR.....	4
Gambar 2. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian Lembar Kolaka (Simanjuntak, T.O., Suroño dan Sukido (1993))	5
Gambar 3. Penampang palinspastik yang menggambarkan tumbukan antara kepingan benua dan ofiolit di Sulawesi (Suroño dkk., 1997 dalam Suroño 2013).....	8
Gambar 4. Mekanisme serpentinisasi peridotit menurut (Li dan Lee, 2006).....	10
Gambar 5. Tingkat Serpentinisasi Pada Batuan Peridotit Secara Megaskopis (Jacques,2002)	12
Gambar 6. Sayatan Tipis Nikol Silang dan Nikol Sejajar Batuan Serpentin-dunit dengan Kehadiran Mineral Lizardit dengan Struktur Fractured (Arif, 2020).	13
Gambar 7. Antigorit Struktur Banded (Arif, 2020).....	13
Gambar 8. Mineral krisotil yang hadir sebagai <i>replacement</i> mineral klinopiroksen dengan struktur <i>fibrous</i> (Arif, 2020).....	14
Gambar 9. Profil Endapan Laterit Nikel Pomalaa (Hashari, 2018).	20
Gambar 10. Proses Pembentukan Nikel Laterit melalui Kekar-Kekar pada Batuan	22
Gambar 11. Peta Kesampaian Daerah Penelitian.....	24
Gambar 12. Metode Pengambilan Sampel Singkapan Batuan di Lapangan.....	28
Gambar 12. a) Alat <i>jaw crusher</i> ukuran -20 mm dan b) Sampel yang telah di <i>crushing</i> menggunakan <i>jaw crusher</i> -20 mm	29
Gambar 13. Proses pengeringan pertama menggunakan oven dengan suhu 105°C	29
Gambar 14. a) Pengayakan menggunakan ayakan -10 mm dan b) Proses penghancuran menggunakan <i>jaw crusher</i> -10 mm.....	30
Gambar 15. a) Sampel di matriks 4x5 dan b) sampel disendok menggunakan sekop 15 D.....	30
16. a) Proses pengayakan menggunakan ayakan -3mm dan b) Proses penghancuran menggunakan <i>jaw crusher</i> -3mm	31



Gambar 17. a) Proses <i>mixing</i> sampel hasil ayakan -3 mm dan b) Sampel di matriks 4x5	31
Gambar 18. Proses pengeringan kedua pada sampel menggunakan oven dengan suhu 105°C.....	32
Gambar 19. Sampel dihaluskan dengan mesin <i>pulverizer</i>	32
Gambar 20. a) Sampel hasil <i>pulverizer</i> dan b) Proses <i>Mixing</i>	32
Gambar 21. a) Matriks sampel ukuran 4x5 menggunakan papan matriks dan b) Pengambilan sampel menggunakan sendok 1 D	33
Gambar 22. Sampel Dimasukkan ke alumunium <i>cup press pellet</i>	33
Gambar 23. a) Mesin <i>press pellet</i> kekuatan \pm 40 Ton dan b) Hasil <i>press pellet</i> ..	34
Gambar 24. Proses pengeringan sampel	34
Gambar 25. Proses analisis sampel menggunakan mesin <i>X-Ray Fluoresence</i>	34
Gambar 26. Hasil analisis sampel dalam bentuk <i>excel</i>	35
Gambar 27. Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	36
Gambar 28. Kenampakan Satuan Geomorfologi Perbukitan Rendah Denudasional (Arah foto relatif N266°E).....	37
Gambar 29. Kenampakan soil litologi peridotit dengan arah foto relatif N194°E	38
Gambar 30. Kenampakan singkapan Peridotit. Gambar diambil pada ST.1 dengan arah N109°E.....	40
Gambar 31. Kenampakan mikroskopis Peridotit pada ST.1.1. dengan komposisi mineral Olivin (Olv), Ortopiroksin (Opx), Serpentin (Srp) dan Opak (Opq).....	41
Gambar 32. Kenampakan singkapan Peridotit. Foto diambil pada ST. 4 dengan arah N240°E.....	42
Gambar 33. Kenampakan mikroskopis peridotit pada ST.4 dengan komposisi mineral Olivin (Olv), Ortopiroksin (Opx), dan Opak (Opq).	43
Gambar 34. Kenampakan singkapan Peridotit. Foto diambil pada ST.9 dengan arah N240°E.....	44
Gambar 35. Kenampakan mikroskopis Peridotit pada ST.9 dengan komposisi mineral Olivin (Olv), Ortopiroksin (Opx), Klinopiroksin (Cpx), Serpentin (Srp) dan Opak (Opq).....	45



Gambar 36. Kenampakan singkapan Peridotit. Foto diambil pada ST.21 dengan arah N240°E.....	46
Gambar 37. Kenampakan mikroskopis Peridotit pada ST. 21 dengan komposisi mineral Olivin (Olv), Ortopiroksin (Opx), dan Opak (Opq)	47
Gambar 38. Kenampakan Mineral Lizardit pada Stasiun 3 dengan Arah Foto Relatif N276°E.....	51
Gambar 39. Kenampakan Mineral Antigorit pada Stasiun 13 dengan Arah Foto Relatif N41°E.....	52
Gambar 40. Kenampakan Mineral Lizardit pada Stasiun 11 dengan Arah Foto Relatif N136°E.....	53
Gambar 41. Kenampakan Mineral Antigorit pada Stasiun 13 dengan Arah Foto Relatif N172°E.....	53
Gambar 42. Diagram Perbandingan Kadar Ni Mineral Serpentin pada Zona Saprolit	54
Gambar 43. Diagram Perbandingan Kadar Fe Mineral Serpentin pada Zona Saprolit	55
Gambar 44. Diagram Perbandingan Kadar MgO Mineral Serpentin pada Zona Saprolit.....	55
Gambar 45. Diagram Perbandingan Kadar SiO ₂ Mineral Serpentin pada Zona Saprolit.....	55
Gambar 46. Diagram Perbandingan Kadar Ni, Kadar Fe, Kadar MgO, Kadar SiO ₂ Mineral Serpentin pada Zona <i>Saprolite Supergent Enrichment</i>	56



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi Tekstur Serpentinisasi Menurut Schwartz (2013)	15
Tabel 2. Hasil Analisis Petrografi Batuan Ultramafik Daerah Penelitian.....	47
Tabel 3. Analisis Geokimia Singkapan Batuan Ultramafik.....	49



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
%	Persen
>	Lebih dari
±	Kurang lebih
// - Nikol	Nikol Sejajar
X – Nikol	Nikol Silang
Ant	Antigorit
Bakosurtanal	Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional
BT	Bujur Timur
Cpx	<i>Clinopyroxene</i>
Dkk	Dan kawan-kawan
E	East
Fe	Besi
GPS	<i>Global Positioning System</i>
Ku	Kompleks Ultramafik
Liz	Lizardit
LS	Lintang Selatan
Mg	Magnesium
N	<i>North</i>
Ni	Nikel
Olv	Olivin
Opq	Opaq
Opx	<i>Orthopyroxene</i>
Si	Silika
Qz	Kuarsa



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Assay	65
A. Data Assay Singkapan Batuan	65
B. Data Assay Mineral Serpentin Pada Zona Saprolit <i>Low Ni</i>	65
C. Data Assay Mineral Serpentin Pada Zona Saprolit <i>High Ni</i>	65
Lampiran 2. Deskripsi Petrografi.....	67
Lampiran 3. Peta Stasiun	



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Menurut Vinogradov batuan ultramafik 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. Proses terjadinya substitusi antara Ni, Fe dan Mg dapat diterangkan karena radius ion dan muatan ion yang hampir bersamaan di antara unsur-unsur tersebut. Proses serpentinisasi yang terjadi pada batuan peridotit akibat pengaruh larutan *hydrothermal*, akan merubah batuan peridotit menjadi batuan serpentin atau batuan serpentin peridotit. Sedangkan proses kimia dan fisika dari udara, air serta pergantian panas dingin yang bekerja kontinu, menyebabkan disintegrasi dan dekomposisi pada batuan induk.

Geologi daerah Pomalaa merupakan bagian dari batuan ultramafik Ofiolit Sulawesi Timur di lengan tenggara Sulawesi. Di daerah tersebut endapan laterit nikel Pomalaa terbentuk dari pelapukan batuan asal ultramafik yang didominasi oleh harzburgit terserpentinisasikan dan memiliki karakteristik tipe endapan laterit nikel *hydrous Mg silicate*.

Secara praktis, pengetahuan tentang serpentinisasi dan kemampuan mengidentifikasi mineral-mineral serpentin sangat bermanfaat bagi kegiatan eksplorasi yang sedang melakukan eksplorasi utamanya mengenai nikel laterit. Seperti telah diketahui bahwa mayoritas produksi bijih nikel laterit secara global berasal dari hasil pelapukan kimia batuan ultramafik terserpentinikan dan hanya sebagian kecil yang berasal dari batuan ultramafik tak terserpentinikan.

Berdasarkan dari kondisi geologi daerah penelitian yang didominasi oleh batuan harzburgit terserpentinisasikan. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk mempelajari dan mengangkat judul Serpentinisasi pada Batuan Ultramafik serta Implikasi terhadap Kadar Bijih Nikel pada Penambangan Bijih Nikel Laterit Bukit Batam Tbk UBPN Kolaka sebagai penelitian tugas akhir.



1.2. Rumusan Masalah

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat serpentinisasi pada batuan ultramafik serta pengaruh mineral serpentin terhadap kadar nikel laterit dengan melihat data assay dan pengamatan petrografi sampel batuan pada daerah penelitian.

1. Bagaimana karakteristik batuan ultramafik pada daerah penelitian serta tingkat serpentinisasi pada batuan ultramafik di daerah penelitian?
2. Bagaimana perbandingan kadar bijih nikel laterit pada mineral lizardit dan mineral antigorit di daerah penelitian?
3. Bagaimana pengaruh tingkat serpentinisasi pada batuan ultramafik terhadap kadar nikel laterit pada daerah penelitian?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian tugas akhir di PT. Antam Tbk UBPN Kolaka, yaitu:

1. Untuk mengetahui karakteristik batuan ultramafik serta tingkat serpentinisasi pada batuan ultramafik di daerah penelitian.
2. Untuk mengetahui perbandingan kadar bijih nikel laterit pada mineral lizardit dan mineral antigorit di daerah penelitian.
3. Untuk mengetahui pengaruh tingkat serpentinisasi pada batuan ultramafik terhadap kadar nikel.

1.4. 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 ultramafik dengan melihat tingkat serpentinisasi pada batuan ultramafik di daerah penelitian.



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

1.5. Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian lebih terarah, maka penelitian ini dibatasi mencakup:

1. Penamaan batuan ultramafik secara megaskopis menggunakan Klasifikasi Travis 1955 serta penamaan batuan ultramafik secara petrografis menggunakan Klasifikasi Streckeisen 1976.
2. Penentuan jenis mineral serpentin secara megaskopis menurut Ahmad 2006 serta penentuan jenis mineral serpentin berdasarkan tekstur khusus menurut Schwartz 2013.
3. Penentuan tingkat serpentinisasi dilakukan dengan menganalisis mineral serpentin berdasarkan tekstur khusus pada petrografis menurut Adi Tonggiroh, 2019 dan Schwartz 2013.
4. Pengaruh serpentinisasi pada batuan ultramafik terhadap kadar endapan nikel laterit dengan mengkorelasikan tingkat serpentinisasi pada batuan ultramafik dengan perseentasi kadar Ni pada zona saprolit daerah penelitian.
5. Lokasi penelitian dilakukan di Daerah Pomalaa, Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara.
6. Batuan yang menjadi objek penelitian merupakan batuan ultramafik Formasi Kompleks Ultramafik yang tersingkap di permukaan pada daerah penelitian.
7. Studi khusus dibatasi pada serpentinisasi pada batuan ultramafic serta implikasinya terhadap kadar bijih nikel pada penambangan bijih nikel laterit Bukit X PT. Antam Tbk UBPN Kolaka
8. Metode yang digunakan adalah metode pengambilan sampel secara langsung, analisis petrografis, dan analisis data menggunakan XRF.



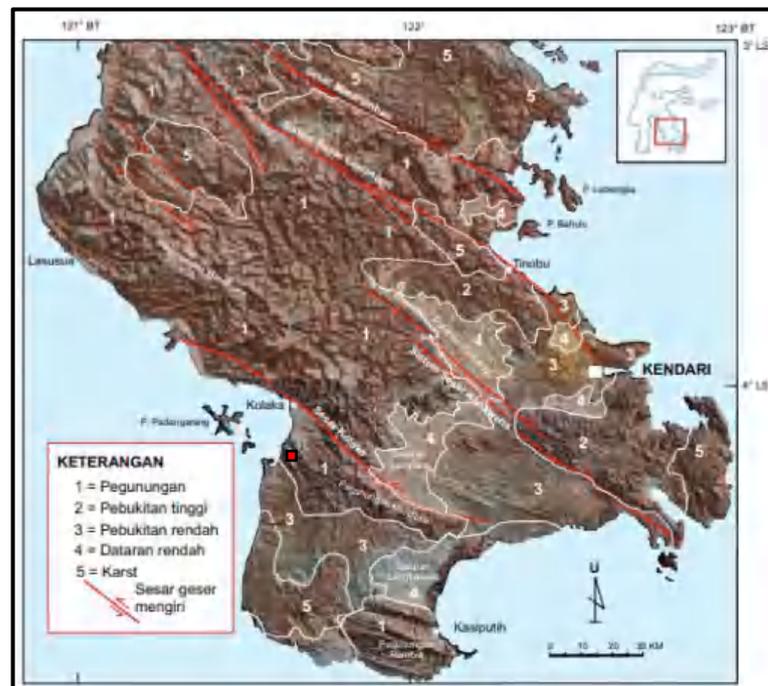
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Geologi Regional

Pembahasan geologi regional terdiri dari penjelasan mengenai stratigrafi dan struktur geologi regional. Geologi regional daerah penelitian termasuk dalam Peta Geologi Lembar Kolaka skala 1: 250.000 yang dipetakan oleh Simanjuntak, T.O., Surono dan Sukido, (1993).

2.1.1. Geomorfologi Regional

Setidaknya ada lima satuan morfologi yang dapat dibedakan dari citra IFSAR di bagian tengah dan ujung selatan Lengan Tenggara Sulawesi, yakni satuan pegunungan, pebukitan tinggi, pebukitan rendah, dataran rendah, dan karst. Ggeomorfologi regional daerah penelitian termasuk kedalam satuan geomorfologi pegunungan.



Gambar 1. Bagian Selatan Lengan Tenggara Sulawesi dari citra IFSAR.



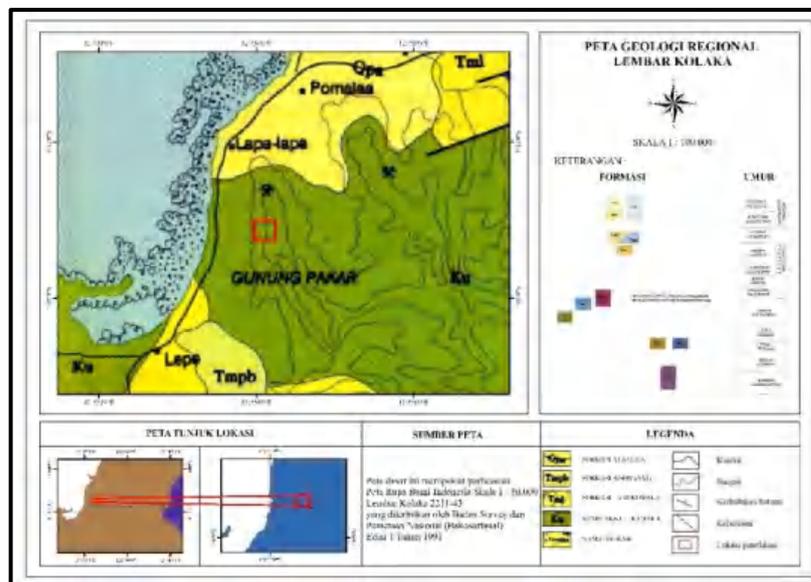
uan morfologi pegunungan menempati bagian terluas di kawasan ini, as Pegunungan Mengkoka, Pegunungan Tangkeleboke, Pegunungan dan Pegunungan Rumbia yang terpisah diujung selatan Lengan Tenggara.

Satuan morfologi ini mempunyai topografi yang kasar dengan kemiringan lereng tinggi.

Satuan pegunungan terutama dibentuk oleh batuan malihan dan setempat oleh batuan ofiolit. Ada perbedaan morfologi yang khas diantara kedua batuan penyusun itu. Pegunungan yang disusun oleh batuan ofiolit mempunyai punggung yang panjang dan lurus dengan lereng relatif lebih rata serta kemiringan yang tajam. Sementara, pegunungan yang dibentuk oleh batuan malihan memiliki punggung terputus serta pendek dengan lereng yang tidak rata walaupun bersudut tajam.

2.1.2. Stratigrafi Regional

Pembahasan stratigrafi regional didasarkan pada hasil peneliti terdahulu oleh T.O. Simandjuntak, Suroño dan (and) Sukido (1993), stratigrafi regional daerah penelitian termasuk dalam Peta Geologi Lembar Kolaka, adapun formasi yang menyusun daerah penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian Lembar Kolaka (Simandjuntak, T.O., Suroño dan Sukido (1993))

Ku Kompleks Ultramafik: Umumnya batuan mafik-ultramafik di Lengan Tenggara Sulawesi sudah mengalami pensesaran dan deformasi kuat. Di beberapa tempat batuan ini bercampur dengan batuan yang berasal dari kepingan benua tua dan batuan campuran aduk (*melange*). Batuan mafik - ultramafik di Lengan Tenggara Sulawesi tersusun oleh peridotit dan piroksenit, serta mikrogabro dan peridotit, yang mendominasi batuan mafik - ultramafik di Lengan Tenggara



Sulawesi ini, terdiri atas dunit, harzburgit, lersolit, dan piroksinit. Sedangkan mikrogabro dan basalt ditemukan di beberapa tempat saja. Batuan ofiolit tersingkap baik di jalan sekitar jembatan Sungai Laloso, Pohara.

Kompleks ofiolit dipisahkan dengan Kepingan Benua Sulawesi Tenggara di Pegunungan Tangkelamboke oleh Sistem Sesar Lawanopo. Di sekitar Pulau Labengke, kompleks ini dengan Formasi Tampakura dipisahkan oleh Sesar Naik Labengke yang mempunyai kemiringan kecil ke arah timur. Di beberapa tempat, kompleks ofiolit ini tersesar-naikan ke atas batuan malihan dan/atau lapisan sedimen tepi benua. Hal ini menunjukkan bahwa sebelum dikoyak Sesar Lawanopo, kompleks ini telah tersesar-naikan ke atas kepingan benua (Suroño, 2013).

2.1.3. Struktur Geologi Regional

Tumbukan antara Kepingan Banggai-Sula Besar dengan Lajur Vulkanik Sulawesi Barat terjadi pada Oligosen Awal – Oligosen Akhir. Ofiolit, yang ada di depan Kepingan BanggaiSula Besar, tersesarnaikkan ke atas tepi barat kepingan benua besar itu. Jejak sesar naik itu masih terekam di sepanjang pantai timur Teluk Bone, ujung utara bagian timur Lengan Tenggara Sulawesi, dan sesar naik di Sulawesi bagian tengah.

Kepingan Benua Banggai-Sula Besar terus bergerak ke arah barat laut. Akibat gerakan menerus ini kepingan benua besar tersebut terpecahkan karena sesar geser, sehingga menjadi beberapa kepingan lebih kecil. Kepingan tersebut menempati bagian timur Sulawesi (Kepingan Banggai-Sula, Siombok, Tambayoli-Bungku, dan Matarombeo) dan terus bergerak ke barat laut sepanjang Sesar Lawanopo-Hamilton. Empat kepingan itu kemudian menabrak Lajur Ofiolit Sulawesi Timur. Oleh sebab itu umur tabrakan antara kepingan benua dan ofiolit menjadi lebih muda ke arah barat laut. Di Lengan Timur Sulawesi, tabrakan keduanya terjadi pada Miosen Tengah (Simandjuntak, 1986; Suroño, 1989a, b, dalam Suroño, 2013), membentuk Sesar Naik Batui, tempat ofiolit tersesarnaikkan ke atas Kepingan Benua Banggai-Sula. Model graviti (Silver dkk., 1983a; Sardjono, 1999 dalam Suroño, 2013), dan struktur sedimen pada Molasa Sulawesi menunjukkan bahwa ofiolit yang tersesarnaikkan ke atas kepingan benua, hanya tipis saja.



Kenampakan di Lengan Tenggara, ofiolit hanya menyebar pada daerah sempit dan terisolasi, yang dibatasi oleh sesar naik ke atas Kepingan Benua Sulawesi Tenggara.

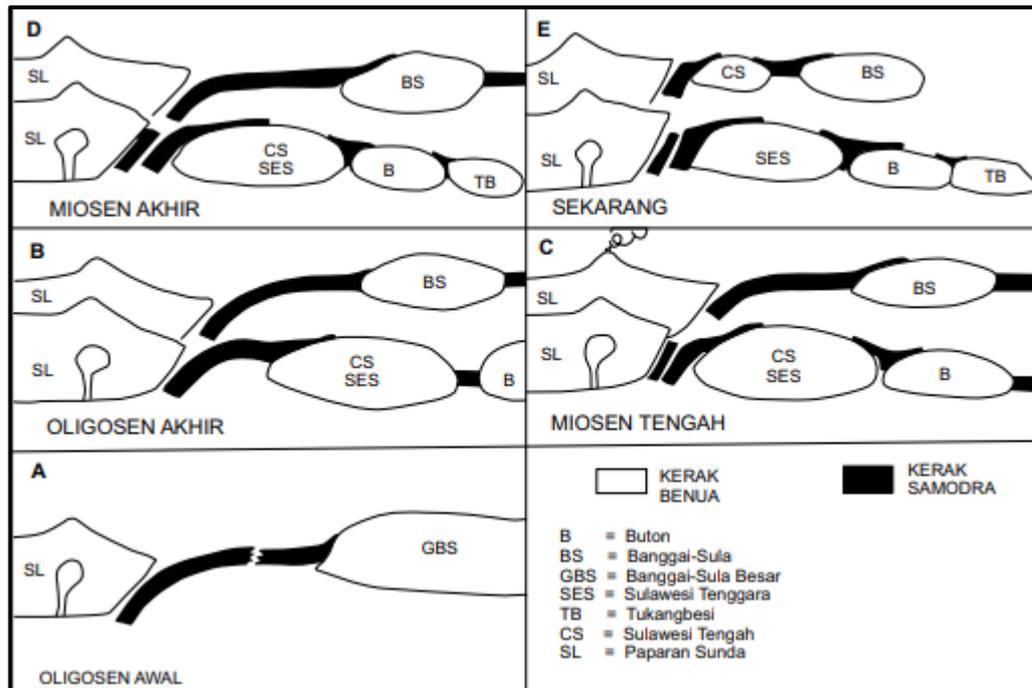
Dalam waktu bersamaan, terjadi tabrakan antara ujung tenggara Kepingan Sulawesi Tenggara dengan Kepingan Buton dan membentuk Kompleks Wolio di Buton (Smith, 1983 dalam Surono 2013), serta Sesar Naik Sangisangi dan juga sesar lainnya yang berhubungan di Tanjung Laonti. Sistem Sesar Lawanopo – Hamilton, yang terbentuk pada awal tabrakan Kepingan Banggai-Sula Besar, berlanjut terus berarah barat laut memotong Lajur Vulkanik Sulawesi Barat membentuk Sesar Palu-Koro.

Pada Miosen Akhir, tabrakan antara Kepingan Banggai-Sula dengan ofiolit memicu terbentuknya sesar geser mengiri (Sesar Kolonedale) di Lengan Timur Sulawesi. Putaran utama 90° searah jarum jam yang dialami Lengan Utara (Otofuij dkk., 1981), pemisahan antara Lengan Selatan, dan Lengan Tenggara sehingga membentuk Teluk Bone (Hamilton, 1979 dalam Surono, 2013) adalah akibat dari tabrakan itu. Jauh di selatan, Kepingan Tukangbesi menabrak Kepingan Buton dari belakang (Smith, 1983 dalam Surono, 2013).

Pengangkatan cepat bagian tengah, yang terjadi sepanjang pantai barat Lengan Tenggara selama Miosen Awal – Miosen Tengah (Helmerts dkk., 1989, 1990), disebabkan oleh berhentinya tabrakan antara Kepingan Sulawesi Tenggara dengan Kepingan Buton. Umur pengangkatan batuan malihan di Lengan Tenggara Sulawesi adalah 16,5-20 jtl. (Miosen Awal – Miosen Tengah; Charlton, 1991 dalam Surono, 2013), dan mungkin setelah terjadinya tabrakan antara kedua kepingan benua itu.

Pisahannya Lengan Tenggara dari Lengan Selatan disebabkan oleh adanya perenggangan (extension) di Teluk Bone. Perenggangan selama Miosen Awal di Lengan Tenggara Sulawesi juga membentuk cekungan fluvial tempat terendapkannya konglomerat Anggota Matarape Formasi Pandua, serta Anggota Tolitoli dan Anggota Konglomerat Formasi Langkowala. Proses sejenis terjadi lebih lambat (Miosen Akhir) di Lengan Timur Sulawesi.





Gambar 3. Penampang palinspastik yang menggambarkan tumbukan antara kepingan benua dan ofiolit di Sulawesi (Suroño dkk., 1997 dalam Suroño 2013).

2.2. Batuan Ultramafik

Batuan Ultramafik hadir dalam bumi sebagai komponen utama penyusun mantel atas di bawah kerak benua atau kerak samudera. Secara sederhana batuan beku ultramafik adalah batuan beku yang secara kimia mengandung kurang dari 45% SiO_2 dari komposisinya. Kandungan mineralnya didominasi oleh mineral-mineral berat dengan kandungan unsur-unsur seperti Fe dan Mg (Ahmad, 2008).

Menurut McDonough dan Rudnick (1998), batuan ultramafik umumnya tersusun atas olivin, ortopiroksen, klinopiroksen, dan fase alumina baik plagioklas, spinel atau garnet tergantung kesetimbangan suhu dan tekanannya. Batuan ultramafik merupakan batuan yang menjadi sumber bagi endapan nikel laterit dan nikel sulfida. Selain sebagai sumber nikel, batuan ultramafik juga dapat menjadi induk dari kromit, logam dasar, kelompok logam platinum (PGM), intan, dan bijih besi laterit.



Menurut Gill (2010) batuan ultramafik yang paling segar tersusun seluruhnya mineral *anhydrous*. Saat mineral *hydrous* seperti hornblend terbentuk pada trabasa, itu dapat mengindikasikan hadirnya air selama proses kristalisasi.

Batuan ultramafik dan ultramafik yang berasal dari manapun cenderung akan mengalami alterasi hidrotermal. Olivin dan ortopiroksen akan bereaksi dengan larutan fluida panas yang kemudian membentuk mineral serpentin. Batuan ultramafik yang didominasi oleh mineral olivin akan berubah menjadi serpentin yang disebut dengan serpentin.

Metamorfisme tingkat rendah pada batuan ultramafik akan menghasilkan batuan serpentin atau talk. Beberapa mineral dominan yang hadir dalam batuan ultrabasa, adalah sebagai berikut: (Gill, 2010) olivin, orthopiroksen, klinopiroksen, spinel, garnet, plagioklas.

2.3. Serpentinisasi

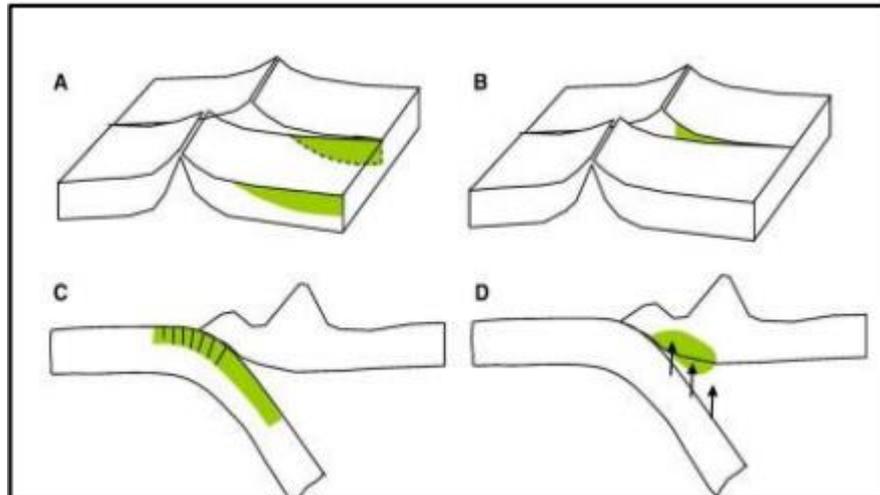
Serpentinisasi menurut Palandri (2004) adalah suatu reaksi eksotermis, hidrasi di mana air bereaksi dengan mineral mafik seperti olivin dan piroksen untuk menghasilkan lizardit, antigorit dan atau krisotil. Menurut Ahmad (2006) ada beberapa hal terjadinya proses serpentinisasi adalah adanya penambahan air, adanya pelarutan magnesia (atau penambahan silika), adanya pelepasan besi dalam olivin (Fe, Mg), konversi besi yang lepas dari ikatan ferro (Fe^{2+}) menjadi ferri (Fe^{3+}) untuk membentuk magnetit berbutir halus. Akibatnya batuan terserpentinisasi umumnya akan menjadi lebih magnetik. Peran atau kemunculan mineral serpentin pada batuan dasar penghasil laterit terkadang memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap karakterisasi tanah laterit yang ada.

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

Menurut Li dan Lee (2006) mekanisme serpentinisasi pada batuan peridotit yang berasal dari lapisan *oceanik* litosfer terdiri atas 4 kejadian. Pada (Gambar 2.7B) terjadi infiltrasi air laut pada *oceanik* litosfer melalui rekahan *oceanik*. Pada (Gambar 2.7C) terjadi proses pelapukan pada batuan peridotit yang terjadi pada an laut, selanjutnya pada gambar (2.7C) proses infiltrasi air laut



menyebabkan subduksi pada batuan peridotit, dan pada gambar (2.7D) 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 4. Mekanisme serpentinisasi peridotit menurut (Li dan Lee, 2006)

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

- 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.
- Tektonik yang meliputi sesar dan zona kekar. Sesar dan zona kekar menjadi salah satu akses yang mudah untuk terjadinya mekanisme hidrotermal.
- 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).

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.



nurut Ahmad (2006) kelompok mineral olivin yaitu *forsterite*, *chrysolite*, it sangat rentan terhadap perubahan oleh cairan hidrotermal dan proses

- 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 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.

2.3.1. 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 2.8). Penentuan tingkat serpentinisasi secara mikroskopis dilihat berdasarkan persentase mineral serpentin maka terdapat 3 jenis terserpentinisasi, yaitu serpentinisasi kuat (mineral serpentin 55%-75%), isasi sedang (mineral serpentin 35%-50%), serpentinisasi lemah (mineral <15%) (Adi Tonggiroh, 2019).





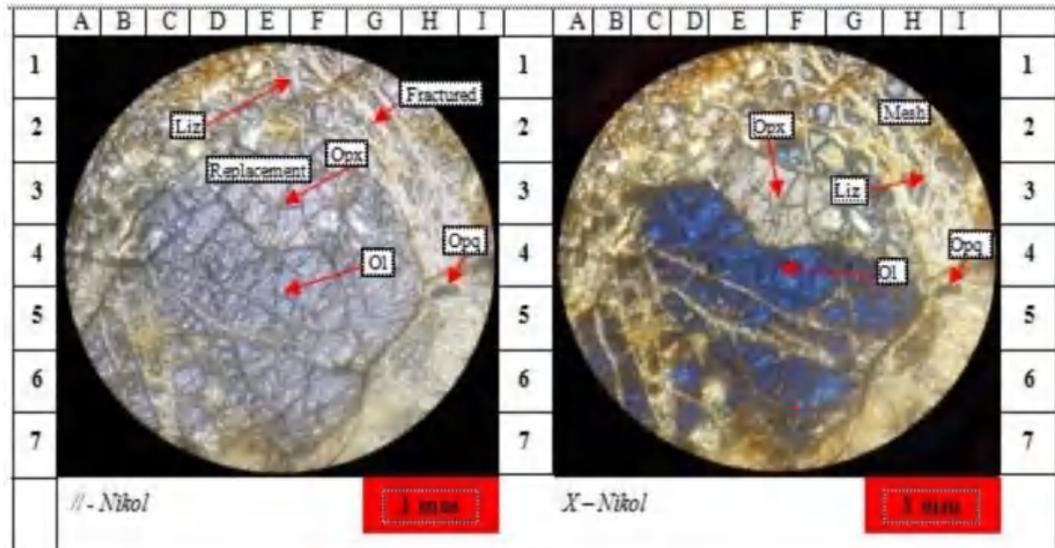
Gambar 5. Tingkat Serpentinisasi Pada Batuan Peridotit Secara Megaskopis (Jacques,2002)

2.3.2. 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).

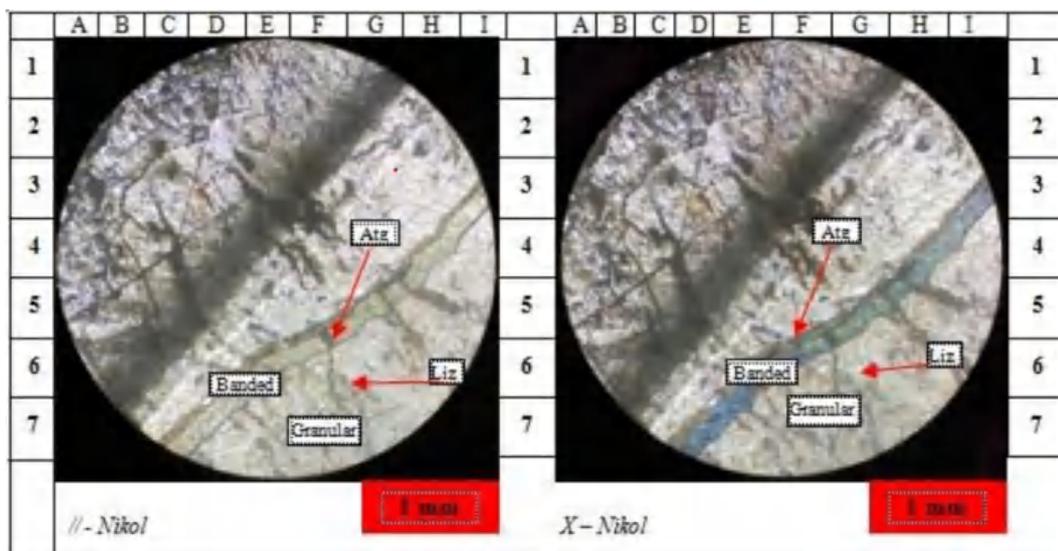
Salah satu jenis dari mineral serpentin adalah mineral lizardit yang merupakan bentuk paling umum dari serpentin. Secara mikroskopis, nampak berserat halus dan terasa. Struktur kisi terdiri dari susunan lapisan planar. Warna biasanya hijau terang sampai sedang tetapi cukup bervariasi karena adanya mineral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





Gambar 6. Sayatan Tipis Nikol Silang dan Nikol Sejajar Batuan Serpentin-dunit dengan Kehadiran Mineral Lizardit dengan Struktur Fractured (Arif, 2020).

Mineral antigorit umumnya terjadi pada kondisi *prograde* serpentinit 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.

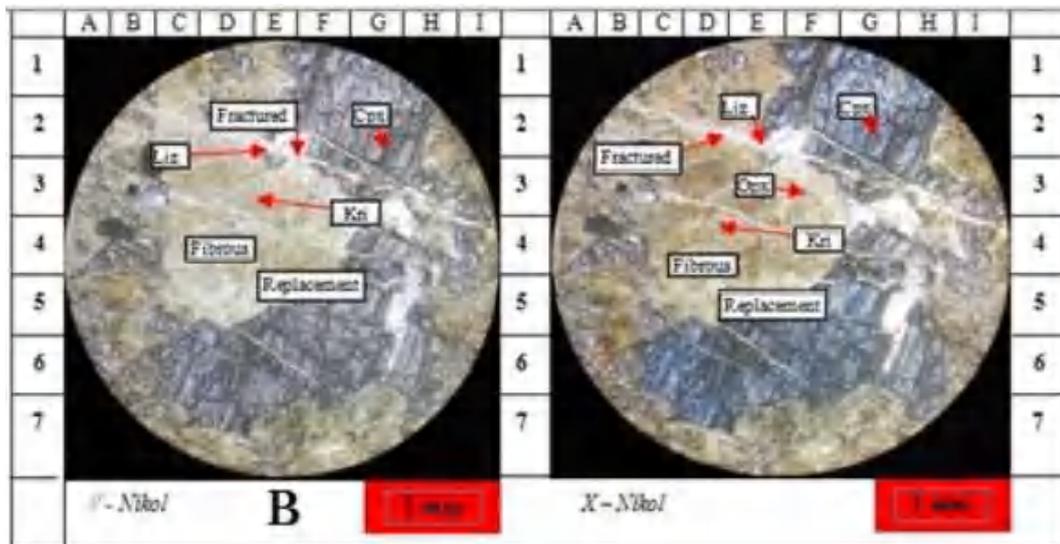


Gambar 7. Antigorit Struktur Banded (Arif, 2020)



sotil merupakan kelompok serpentin yang kelimpahannya paling kecil. ini mudah dikenal karena memiliki struktur *fibrous* dan umumnya 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 struktur ortorombik sedangkan klinokrisotil adalah monoklin.



Gambar 8. Mineral krisotil yang hadir sebagai *replacement* mineral klinopiroksen dengan struktur *fibrous* (Arif, 2020)

2.3.3. Tekstur Serpentinisasi

Schwartz membagi tingkat serpentinisasi berdasarkan tekstur batuan serpentin. 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 2.1)



Tabel 1. Klasifikasi Tekstur Serpentinisasi Menurut Schwartz (2013)

Tekstur	Perkembangan mineral	Mineral	Kondisi Pembentukan (Shwartz, 2012)
<i>Bastite</i>	Umumnya Ortopyroksen 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 / ortopyroksen 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.

2.3.3.1. 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 *mesh* dan *hourglass*. Melalui pengamatan *X-ray* dapat diketahui bahwa dari olivin tersebut menghasilkan mineral lizardit dengan sedikit krisotil, dan aksesoris 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 serpentin. 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 bentukan dari butiran mineral

nya. Tekstur ini umumnya memperlihatkan bentukan pola piramid/kerucut yang 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 sampai lebih dari 12 kbar dengan suhu berkisar antara 340°C sampai lebih dari 380°C.

2.3.3.2. 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 anedral diskrit. Tekstur interpenetrasi 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*

2.3.3.3. Tekstur Vein Serpentin

Vein serpentin sepanjang rekahan, *shear*, dan bidang kekar dapat ditemukan pada serpentinit derajat tinggi dan rendah. Rekahan tersebut dapat membaji maupun bercabang, dan apabila tergeruskan, akan memperlihatkan arah gerusan dan *slickensides*. Serpentinit 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 serpentinit biasanya berwarna hijau karena magnetit yang berasosiasi tersegregasi dalam bentuk butiran yang menyebar.



2.4. Endapan Nikel Laterit

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.

Nikel laterit adalah produk residual pelapukan kimia pada batuan ultramafik. Proses laterisasi berlangsung selama jutaan tahun dimulai ketika batuan ultramafik tersingkap dipermukaan bumi sampai menghasilkan berupa residu nikel yang diakibatkan oleh faktor laju pelapukan, struktur geologi, iklim, topografi, reagen-ragen kimia, vegetasi dan waktu.

Pengaruh iklim tropis di Indonesia mengakibatkan proses pelapukan yang intensif didukung oleh pecahan bentukan geologi *metha-morphic belt* di Timur dan Tenggara. Selain itu kondisi ini juga tidak terlepas oleh iklim, reaksi kimia, struktur, dan topografi Sulawesi yang cocok terhadap pembentukan nikel laterit.

Pelapukan pada batuan dunit dan peridotit menyebabkan unsur-unsur bermobilitas rendah sampai *immobile* seperti Ni, Fe dan Cr mengalami pengayaan secara residu dan sekunder. Berdasarkan proses pembentukannya endapan nikel laterit terbagi menjadi beberapa zona dengan ketebalan dan kadar yang bervariasi. Daerah yang mempunyai intensitas pengkekarannya yang intensifakan mempunyai profil lebih tebal dibandingkan dengan yang pengkekarannya kurang begitu intensif.

Batuan ultramafik yang berada di wilayah bercurah hujan tinggi, bersuhu hangat, topografi yang landai, banyak vegetasi (melimpahnya humus), akan mengalami pelapukan membentuk endapan nikel laterit.

Menurut Maulana (2017), laterit merupakan sumber dari beberapa mineral ekonomis diantaranya bauksit dan nikel (Ni), mangan (Mn), tembaga (Cu), emas (Au) dan *platinum group element* (PGE). Bagian paling bawah dari profil laterit

lengan zona saprolite yang merupakan zona pelapukan tinggi dimana imer dan *fabric* dari batuan asalnya masih dapat dilihat. Akibat fluida yang *xided* dan asam, maka bagian paling bawah dari zona ini dicirikan dengan



tidak stabilnya *sulfide* dan karbonat dengan hasil pencucian atau *leaching* dari logam-logam *chalcopile* 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*).

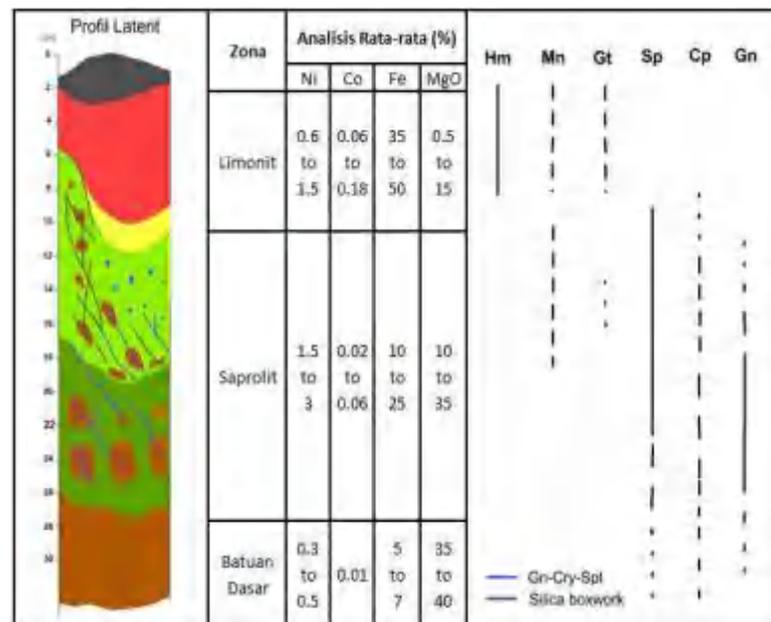
2.4.1. Profil Endapan Nikel Laterit

Hasil pengamatan lapangan menunjukkan urutan dari zonasi laterit mulai dari tanah penutup, limonit, saprolit dan batuan dasar

1. Tanah penutup, tersusun oleh material lepas berukuran lempung-pasir yang umumnya berwarna coklat dengan kandungan organik yang tinggi seperti akar-akar tumbuhan dan oksida besi berupa nodul besi (Fe) maupun tanah. Ketebalan tanah penutup berkisar 1 meter sampai dengan 2 meter dan mengandung unsur nikel yang rendah.
2. Zona limonit, merupakan zona yang mengandung pemerayaan besi residual pada profil laterit yang disusun oleh oksida besi terhidrasi. Materialnya sangat lunak dan didominasi oleh material berukuran lempung. Bagian atas berwarna coklat kehitaman yang mengandung mineral hematit. Nikel dapat terikat pada struktur mineral goethit bersama sejumlah unsur seperti aluminium, mangan dan kromium. Hasil analisis geokimia menunjukkan kadar nikel pada kisaran 0,4% sampai dengan 1,5% Ni. Ketebalan zona limonit di daerah penelitian berkisar antara 2 meter sampai dengan 9 meter.
3. Zona transisi pada profil laterit secara setempat dijumpai endapan nikel laterit di daerah penelitian berupa *yellow limonite*. Pada bagian atas zona transisi terdapat zona limonit berwarna *red limonite*, sedangkan di bagian bawahnya terdapat zona saprolit. Secara megaskopis zona transisi didominasi oleh limonit berwarna kuning kemerahan yang mengandung mineral-mineral smektit, hematit dan silika. Relik tekstur batuan asal secara setempat masih terlihat dengan baik. Ketebalan zona transisi berkisar antara 1 meter sampai dengan 2 meter. Hasil analisis geokimia menunjukkan kandungan nikel zona transisi berkisar antara 1,5% sampai dengan 2% Ni.



4. Zona saprolit dicirikan dengan warna coklat kehijauan, memiliki tekstur halus hingga kasar, relik mineral batuan asalnya tergantikan oleh mineral sekunder dari produk pelapukan, vein garnierit dan vein silika dengan tekstur boxwork berkembang dengan baik yang memperlihatkan jejak struktur batuan asalnya. Ketebalan zona saprolit berkisar $\pm 10-15$ m. Kadar nikel pada zona saprolit berkisar antara 1,8% - 3 % Ni.
5. Bedrock, merupakan zona yang memiliki intensitas rekahan yang tinggi. Berwarna abu-abu kecoklatan, dengan tekstur batuan yang kasar dengan komposisi mineral olivin-piroksen dengan mineral ubahan serpentin yang merupakan batuan ultramafik yaitu batuan peridotit. Rekahan-rekahan berbentuk tidak teratur dan sebagian terisi berupa urat oleh silika dan garnierit. Dari inti bor diketahui kedalaman batuan dasar dari permukaan berkisar antara 25 meter sampai dengan 30 meter. Zona batuan dasar ini memiliki kadar nikel $<0,5\%$ Ni.



Gambar 9. Profil Endapan Laterit Nikel Pomalaa (Hashari, 2018).

2.4.2. Faktor Pembentukan Nikel Laterit

Adapun faktor pembentukan nikel laterit yaitu: (Noor, 2017)



1. Batuan asal

Adanya batuan asal merupakan syarat utama untuk terbentuknya endapan nikel laterit, macam batuan asalnya adalah batuan ultrabasa. Dalam hal ini pada batuan ultrabasa tersebut:

- a. Terdapat elemen Ni yang paling banyak di antara batuan lainnya
- b. Mempunyai mineral-mineral yang paling mudah lapuk atau tidak stabil, seperti olivin dan piroksin
- c. Mempunyai komponen-komponen yang mudah larut dan memberikan lingkungan pengendapan yang baik untuk nikel.

2. Iklim

Adanya pergantian musim kemarau dan musim penghujan dimana terjadi kenaikan dan penurunan permukaan air tanah juga dapat menyebabkan terjadinya proses pemisahan dan akumulasi unsur-unsur. Perbedaan temperatur yang cukup besar akan membantu terjadinya pelapukan mekanis, dimana akan terjadi rekahan-rekahan dalam batuan yang akan mempermudah proses atau reaksi kimia pada batuan.

3. Reagen-reagen kimia dan vegetasi

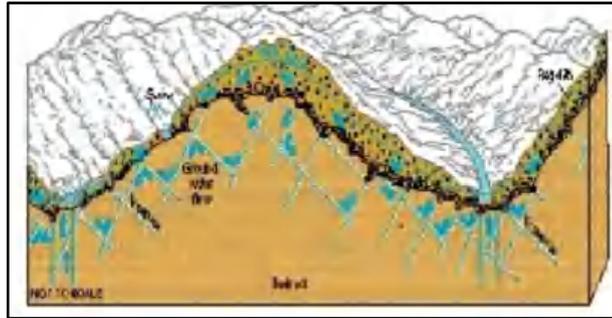
Yang dimaksud dengan reagen-reagen kimia adalah unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang membantu mempercepat proses pelapukan. Air tanah yang mengandung CO_2 memegang peranan penting di dalam proses pelapukan kimia. Asam-asam humus menyebabkan dekomposisi batuan dan dapat mengubah pH larutan. Asam-asam humus ini erat kaitannya dengan vegetasi daerah. Dalam hal ini, vegetasi akan mengakibatkan: penetrasi air dapat lebih dalam dan lebih mudah dengan mengikuti jalur akar pohon-pohonan, akumulasi air hujan akan lebih banyak, humus akan lebih tebal. Selain itu, vegetasi dapat berfungsi untuk menjaga hasil pelapukan terhadap erosi mekanis.

4. Struktur

Seperti diketahui, batuan beku mempunyai porositas dan permeabilitas yang kecil sekali sehingga penetrasi air sangat sulit, maka dengan adanya rekahan-

rekan lebih memudahkan masuknya air dan berarti proses pelapukan akan lebih mudah.





Gambar 10. Proses Pembentukan Nikel Laterit melalui Kekar-Kekar pada Batuan

5. Topografi

Keadaan topografi setempat akan sangat memengaruhi sirkulasi air beserta reagen-reagen lain. Untuk daerah yang landai, maka air akan bergerak perlahan-lahan sehingga akan mempunyai kesempatan untuk mengadakan penetrasi lebih dalam melalui rekahan-rekahan atau pori-pori batuan. Akumulasi andapan umumnya terdapat pada daerah-daerah yang landai sampai kemiringan sedang, hal ini menerangkan bahwa ketebalan pelapukan mengikuti bentuk topografi. Pada daerah yang curam, secara teoritis, jumlah air yang meluncur (*run off*) lebih banyak daripada air yang meresap ini dapat menyebabkan pelapukan kurang intensif.

6. Waktu

Waktu yang cukup lama akan mengakibatkan pelapukan yang cukup intensif karena akumulasi unsur nikel cukup tinggi.

2.5. 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.,



nurut Sufriadin dkk., (2009) tingkat serpentinisasi akan berkorelasi warna batuan, semakin tinggi tingkat serpentinisasi, warna batuan semakin

