

SKRIPSI

**RELASI ANTARA MINERAL DENGAN KADAR Ni BATUAN PERIDOTIT
PADA BLOK X PT. ANUGERAH BANGUN MAKMUR, KECAMATAN
PAGIMANA, KABUPATEN BANGGAI PROVINSI SULAWESI TENGAH**

Disusun dan diajukan oleh

SALWA SAFITRI IRIANTO

D061181304



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

**MAKASSAR
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**RELASI ANTARA MINERAL DENGAN KADAR Ni BATUAN
PERIDOTIT PADA BLOK X PT. ANUGERAH BANGUN MAKMUR,
KECAMATAN PAGIMANA, KABUPATEN BANGGAI
PROVINSI SULAWESI TENGAH**

Disusun Dan Diajukan Oleh

**SALWA SAFITRI IRIANTO
D061181304**

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

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr. Ir. H. Hamid Umar, MS
NIP. 19601202 198811 1 001

Pembimbing Pendamping



Meinarni Thamrin, S.T., M.T
NIP. 19710512 200812 2 001

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



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Salwa Safitri Irianto
NIM : D061181304
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul

*Geologi Daerah Tellu Boccoe dan Sekitarnya Kecamatan Ponre Kabupaten Bone
Provinsi Sulawesi Selatan*

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

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

Gowa, Juni 2023

Yang menyatakan,



Salwa Safitri Irianto

SARI

Secara administratif daerah penelitian terletak pada daerah eksplorasi PT. Anugerah bangun Makmur, Kecamatan Pagimana Kabupaten Banggai Provinsi Sulawesi Selatan. Secara astronomis lokasi penelitian berada pada antara $123^{\circ}1'00''$ dan $123^{\circ}2'00''$ serta $0^{\circ}4'20''$ dan $0^{\circ}4'30''$ Lintang Selatan. Tujuan penelitian untuk mengetahui relasi antara petrografi batuan peridotit dan kadar Ni pada batuan tersebut. Metode yang digunakan yaitu metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) dan petrografi. Untuk sampel yang dianalisis terdiri atas 5 sampel *hole* batuan peridotit. Berdasarkan penelitian, diperoleh hasil analisis petrografi batuan peridotit yang tersusun atas mineral *olivine*, *orthopyroxene*, *serpentine*, and *clinopyroxene*. Dari analisis petrografi tersebut, dijumpai 3 jenis batuan peridotit yaitu *Hazburgite*, *Hazburgite* terserpentinisasi, dan *Lherzolute* terserpentinisasi. Adapun hasil analisis geokimia dari batuan peridotit ini berfokus pada analisis unsur Ni, Co, Fe, MgO, dan SiO₂. Dari hasil geokimia batuan peridotit 5 sampel *hole*, didapatkan rata-rata kadar unsur Ni 0,33%, kadar Co 0,009%, kadar Fe 5,52%, kadar MgO 35,31%, dan kadar SiO₂ yaitu 41,13%. Berdasarkan kandungan mineral penyusun pada batuan peridotit, unsur Ni mengalami peningkatan kadar secara berurutan pada mineral *olivine*, *orthopyroxene*, *serpentin*, dan terendah pada *clinopyroxene*.

Kata Kunci : Nikel laterit; peridotit; petrografi; geokimia

ABSTRACT

Administratifly, the research area is located on the exploration area of PT. Anugerah Bangun Makmur, Pagimana District, Banggai Regency, South Sulawesi Province. Astronomically the research location is between 123°1'00" and 123°2'00" and 0°4'20 and 0°4'30" South Latitude. The research objective was to determine the relationship between petrography of peridotite rocks and Ni content in these rocks. The method used is the XRF (X-Ray Fluorescence) method and petrography. The samples analyzed consisted of 5 peridotite rock hole samples. Based on the research, the results of petrographic analysis of peridotite rocks were obtained which were composed of the minerals olivine, orthopyroxene, serpentine, and clinopyroxene. From the petrographic analysis, three types of peridotite were found, namely Hazburgite, serpentinized Hazburgite, and serpentinized Lherzolute. The results of the geochemical analysis of this peridotite rock focus on the analysis of the elements Ni, Co, Fe, MgO, and SiO₂. From the geochemical results of the peridotite rock of 5 hole samples, the average elemental content of Ni was 0.33%, Co content was 0.009%, Fe content was 5.52%, MgO content was 35.31%, and SiO₂ content was 41.13%. Based on the content of mineral constituents in peridotite, Ni levels increased sequentially in olivine, orthopyroxene, serpentine, and the lowest in clinopyroxene.

Keywords : *Nickel laterite; peridotite; petrography; geochemistry*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “***Relasi antara Mineral dan Kadar Ni Batuan Peridotit pada Blok X PT. Anugerah Bangun Makmur, Kecamatan Pagimana, Kabupaten Banggai, Provinsi Sulawesi Tengah***” ini bisa diselesaikan dengan sebaik-baiknya. Shalawat dan salam juga senantiasa kita kirimkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, yang telah menjadi teladan terbaik bagi umat manusia.

Laporan pemetaan ini di buat sebagai suatu langkah untuk menyelesaikan strata satu pada Deprtemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penyusunan laporan pemetaan ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kepada PT. Anugerah Bangun Makmur yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk bisa mengambil pengalaman selama kerja praktek di tempat tersebut.
2. Kepada **Bapak Hendra Setiawan, S.T** yang telah membimbing penulis selama mengikuti Kerja Praktek di PT. Anugerah Bangun Makmur.
3. Kedua orang tua saya yang telah memberikan dukungan baik secara materil maupun moril.
4. **Bapak Dr. Ir. H. Hamid Umar, MS dan Ibu Meinarni Thamrin, S.T., M.T.**, sebagai pembimbing pemetaan geologi yang telah banyak

meluangkan waktu dan tenaga selama memberikan bimbingan dalam pengerjaan laporan ini.

5. **Bapak Prof. Dr. -Eng. Adi Maulana, S.T., M.Phil** dan **Bapak Sahabuddin Jumadil, S.T., M.Eng.** sebagai dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis dalam penyusunan tugas akhir serta ilmu yang bermanfaat telah diberikan dalam perkuliahan selama ini.
6. **Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng** sebagai Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Unviersitas Hasanuddin.
7. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas bimbingannya.
8. Para staf Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu.
9. Kepada kanda Muh. Ihsan, S.T. yang telah memberikan sarannya selama penulisan laporan.
10. Seluruh rekan-rekan Mahasiswa Geologi UNHAS, terkhusus pada angkatan 2018 (XENOLITH) yang telah banyak memberikan dukungan kepada penulis.
11. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, atas segala saran dan bantuan yang diberikan selama ini.

Makassar, Juni 2023

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
SARI	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Lokasi Penelitian	3
1.6 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Geologi Regional	5
2.1.1 Geomorfologi Regional	6
2.1.2 Stratigrafi Regional.....	7
2.1.3 Struktur dan Tektonik Regional.....	10
2.1.3.1 Struktur.....	10
2.1.3.2 Lipatan.....	11
2.1.3.3 Tektonik.....	11
2.2 Landasan Teori.....	12
2.2.1 Batuan Ultramafik.....	12
2.2.1.1 Peridotit	15
2.2.1.2 Dunit.....	15

2.2.1.3 Serpentin	16
2.2.1.5 Piroksenit	17
2.2.1.1 Hornblendit	17
2.2.2. Serpentinisasi	18
2.2.3 Nikel	20
2.3 Genesis Endapan Nikel Laterit	21
2.4 Hubungan Morfologi dan Topografi Pembentukan Nikel Laterit	29
BAB III METODE DAN TAHAPAN PENELITIAN	31
3.1 Metode Penelitian Lapangan	31
3.2 Analisis Laboratorium	32
3.2.1 Petrografi	32
3.2.2 <i>X-Ray Flourence</i> (XRF)	33
3.3 Pengolahan Data	34
3.3.1 Petrografi	34
3.3.2 Geokimia	34
3.4 Interpretasi Data	35
3.5 Penyusunan Skripsi	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Kondisi Regional Daerah Penelitian	37
4.2 Mineralogi Batuan Peridotit Daerah penelitian	38
4.2.1 Mineralogi Conto KS009	39
4.2.2 Mineralogi Conto KS0010	40
4.2.3 Mineralogi Conto KS0011	41
4.2.4 Mineralogi Conto KS0012	42
4.2.5 Mineralogi Conto KS0013	43
4.3 Karakteristik Geokimia Batuan Peridotit Daerah Penelitian	44
4.3.1 Geokima Conto KS009	44
4.3.2 Geokima Conto KS0010	45
4.3.3 Geokima Conto KS0011	45
4.3.4 Geokima Conto KS0012	46
4.3.5 Geokima Conto KS0013	46

4.4	Relasi antara Mineral dengan Kadar Ni pada batuan Peridotit.....	47
4.4.1	<i>Olivine</i>	49
4.4.2	<i>Orthopyroxene</i>	49
4.4.3	Serpentin	50
4.4.4	<i>Clinopyroxene</i>	51
BAB V PENUTUP		52
5.1	Kesimpulan	52
5.2	Saran	53
DAFTAR PUSTAKA		54
LAMPIRAN		
1.	Data Assay	
2.	Deskripsi Petrografi	
3.	Peta Geologi	
4.	Peta Titik <i>Hole</i>	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Peta Tunjuk Lokasi Daerah Penelitian	4
Gambar 2.1 Peta Sulawesi dan Mandala Geologi (Sukanto, 1975)	6
Gambar 2.2 Kolom Stratigrafi Daerah Penelitian (Rusmana, 1993)	8
Gambar 2.3 Peta Geologi Daerah Luwuk, Sulawesi (Rusmana, 1993)	10
Gambar 2.4 Perkembangan Tektonik (Audley-Charles, 1972)	12
Gambar 2.5 Klasifikasi IUGS Batuan Ultrabasa Streckeisen (1976).....	14
Gambar 2.6 Pembentukan Endapan Nikel (Kadariusman, 2004).....	27
Gambar 2.7 Profil Laterit.....	28
Gambar 2.8 Tipe Profil Laterit	28
Gambar 2.9 Klasifikasi sederhana antara bentuk lahan dan proses Laterisasi (Achmad, 2001)	30
Gambar 2.10 Hubungan topografi terhadap proses laterisasi (Achmad, 201)	30
Gambar 3.1 Mikroskop Polarisasi Nikon Eclipse 200	33
Gambar 3.2 Diagram Alur Tahapan penelitian.....	36
Gambar 4.1 Kenampakan megaskopis <i>bedrock</i> batuan peridotit.....	38
Gambar 4.2 Kenampakan mikroskopis conto KS009. Komposisi mineral terdiri dari <i>Orthopiroxene</i> (Opx), <i>Clinopiroxene</i> (Cpx), <i>Serpentin</i> (<i>Crysotile</i>) (Cry), <i>Serpentin (Lizardit)</i> (Lzd), dan Cr-Spinel.....	39
Gambar 4.3 Kenampakan mikroskopis conto KS0010. Komposisi mineral terdiri dari <i>Orthopiroxene</i> (Opx), <i>Clinopiroxene</i> (Cpx), <i>Serpentin</i> (<i>Crysotile</i>) (Cry), dan <i>Serpentin (Lizardit)</i> (Lzd)	40
Gambar 4.4 Kenampakan mikroskopis conto KS0011. Komposisi mineral terdiri dari <i>Orthopiroxene</i> (Opx), <i>Clinopiroxene</i> (Cpx), <i>Olivine</i> (Ol), dan <i>Serpentin</i> (Se)	41
Gambar 4.5 Kenampakan mikroskopis conto KS0012. Komposisi mineral terdiri dari <i>Orthopiroxene</i> (Opx), <i>Clinopiroxene</i> (Cpx), <i>Serpentin</i> (<i>Crysotile</i>) (Cry), <i>Serpentin (Lizardit)</i> (Lzd), dan Cr-Spinel.....	42

Gambar 4.6 Kenampakan mikroskopis conto KS0013. Komposisi mineral terdiri dari *Orthopyroxene* (Opx), *Clinopyroxene* (Cpx), Serpentin (*Crysotile*)(Cry), dan Mineral Opaq (Opq).....43

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1	Perbedaan batuan Ultramafik dan Ultrabasa (Ahmad, 2006).....15
Tabel 4.1	Data Unsur Geokimia pada Lapisan <i>Bedrock</i> KS00944
Tabel 4.2	Data Unsur Geokimia pada Lapisan <i>Bedrock</i> KS01045
Tabel 4.3	Data Unsur Geokimia pada Lapisan <i>Bedrock</i> KS01145
Tabel 4.4	Data Unsur Geokimia pada Lapisan <i>Bedrock</i> KS01246
Tabel 4.5	Data Unsur Geokimia pada Lapisan <i>Bedrock</i> KS01346
Tabel 4.6	Relasi Mineral dan Kadar Ni pada Batuan peridotit48

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Geologi Pulau Sulawesi khususnya bagian lengan timur diketahui tersusun dari batuan ultramafik yang cukup luas dengan potensi mineral yang dimilikinya, termasuk mineral nikel laterit. Nikel laterit adalah endapan yang berasal dari proses pelapukan (laterisasi) pada batuan induk (batuan ultramafik) dimana Indonesia merupakan negara beriklim tropis sehingga memungkinkan pelapukan tinggi dapat terjadi (Arifin dkk., 2015).

Nikel merupakan salah satu logam *non-ferrous* yang banyak dibutuhkan pada berbagai aplikasi. Nikel memiliki ketahanan korosi, kekuatan, keuletan, dan konduktivitas termal serta listrik yang tinggi sehingga memungkinkan untuk digunakan pada berbagai keperluan. Penggunaan utama nikel adalah sebagai bahan baku untuk pembuatan baja tahan karat, logam dasar pada paduan berbasis nikel, superalloy, baterai, dan komponen-komponen paduan logam yang digunakan pada aplikasi suhu tinggi.

Menurut Ahmad (2008), pelapukan pada batuan ultramafik menyebabkan unsur-unsur yang terdapat dalam batuan yang bersifat *mobile* akan terendapkan pada bagian bawah laterit, sedangkan unsur – unsur yang memiliki mobilitas rendah (Ni, Fe, Co⁺¹, Mn⁻¹) akan mengalami pengkayaan residual. Hal ini akan mempengaruhi komposisi mineralogi dan volume setiap unsur selama proses pelapukan endapan

laterit. Meningkatnya kebutuhan nikel dunia disebabkan oleh naiknya kebutuhan baja tahan karat dan paduan berbasis nikel serta isu penggunaan mobil listrik di masa mendatang. Oleh karena itu, pencarian serta pengolahan cadangan nikel yang baru sangat dibutuhkan.

Berdasarkan Peta Geologi Regional Lembar Luwuk (Rusmana, 1993), daerah Siuna Kecamatan Pagimana Kabupaten Banggai termasuk dalam Formasi Kompleks Mafik yang tersusun atas batuan beku ultramafik, antara lain gabro, basalt, peridotit, serpentin, sedikit filit dan sekis. Batuan ultramafik tersebut tersingkap baik dipermukaan dan tersebar luas dari barat ke timur sehingga memungkinkan terjadinya proses laterisasi menghasilkan potensi endapan nikel laterit yang melimpah. Namun penelitian dan laporan eksplorasi yang dilakukan terkait potensi nikel laterit pada daerah tersebut masih sangat kurang. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik batuan ultramafic yang tersebar pada daerah Siuna Kecamatan Pagimana Kabupaten Banggai, sehingga dapat diketahui potensi nikel laterit pada daerah ini.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana karakteristik mineral batuan peridotit pada daerah penelitian?
2. Bagaimana karakteristik geokimia batuan peridotit pada daerah penelitian?
3. Bagaimana relasi antara mineral dan kadmium (Cd) batuan peridotit pada daerah penelitian?

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dilakukannya penelitian ini yaitu untuk mengetahui hubungan antara petrografi batuan peridotit dan kadar Ni pada lokasi penelitian.

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengidentifikasi mineral penyusun batuan melalui analisis petrografi dalam menentukan nama jenis batuan peridotit pada daerah penelitian.
2. Untuk menganalisis karakteristik unsur penyusun batuan peridotit pada daerah penelitian
3. Mengetahui relasi antara mineral dan kadar Ni batuan peridotit pada daerah penelitian.

1.4 Batasan Masalah

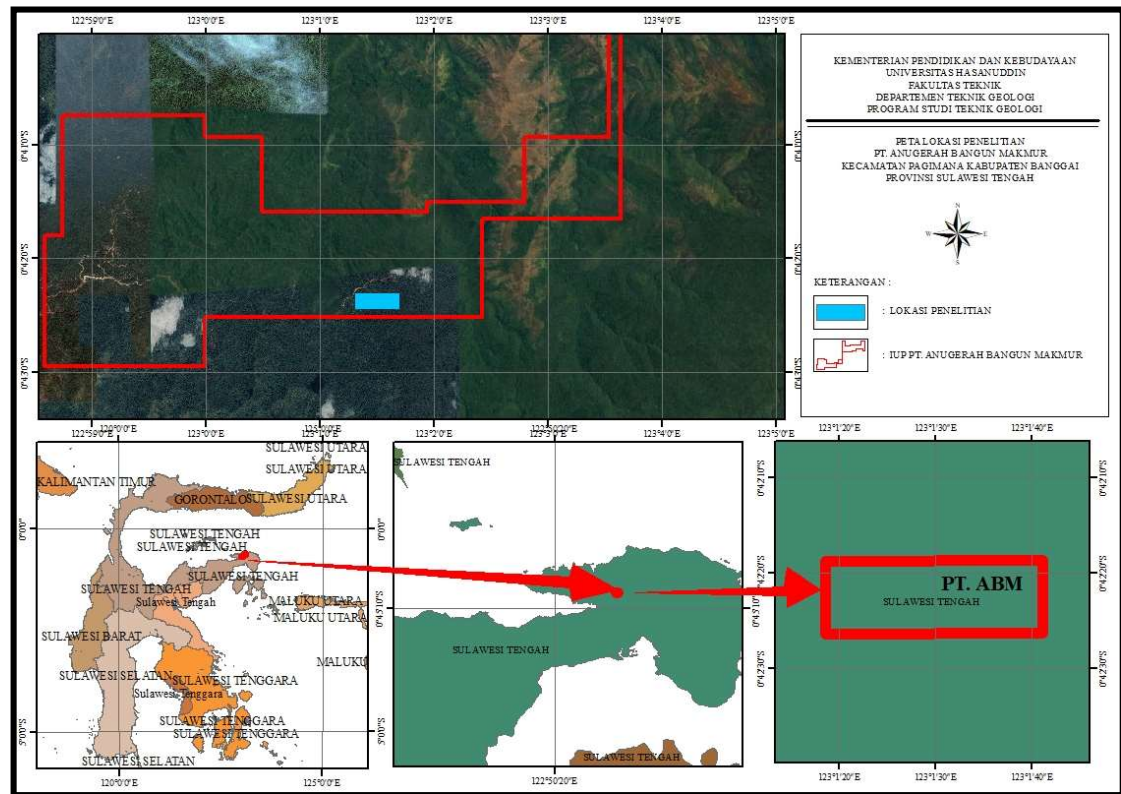
Batasan masalah yang memfokuskan pembahasan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Luasan area penelitian dibatasi oleh wilayah izin usaha pertambangan PT. Anugerah Bangun Makmur;
2. Pembahasan difokuskan pada mineralogi dan kadar Ni pada batuan peridotit di PT. Anugerah Bangun Makmur berdasarkan petrografi dan data Geokimia XRF.

1.5 Lokasi Penelitian

Daerah penelitian terletak di PT. Anugerah Bangun Makmur, daerah Siuna Kecamatan Pagimana Kabupaten Banggai Provinsi Sulawesi Tengah. Secara astronomis lokasi penelitian berada pada antara $123^{\circ}1'00''$ dan $123^{\circ}2'00''$ serta

0°4'20" dan 0°4'30" Lintang Selatan. Penelitian dilakukan di Blok "X" PT. Anugerah Bangun Makmur.



Gambar 1.1 Peta Tunjuk Lokasi Daerah Penelitian

1.6 Manfaat Penelitian

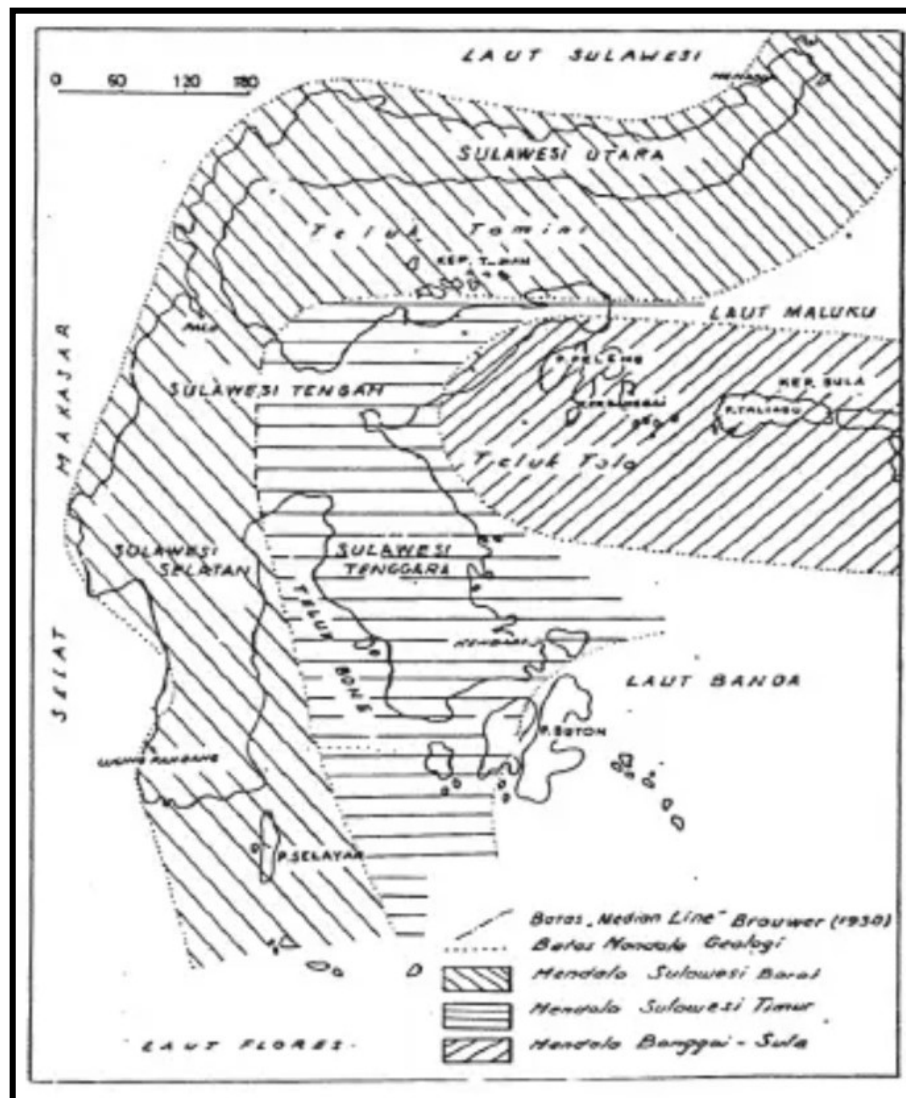
Manfaat penelitian ini adalah sebagai bahan acuan atau referensi untuk mengetahui kondisi geologi pada daerah penelitian serta mengetahui karakteristik mineral dan kadar Ni batuan peridotit pada Blok "X" PT. Anugerah Bangun Makmur.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Sulawesi dan pulau-pulau disekitarnya dibagi menjadi tiga mandala geologi, yang secara orogen bagian timur berumur lebih tua sedangkan bagian barat lebih muda. Mandala-mandala tersebut adalah mandala Sulawesi Barat, Mandala Sulawesi Timur, dan Mandala Banggai Sula. Pembagian tersebut didasarkan pada stratigrafi, struktur dan sejarah masing-masing mandala. Kepulauan Banggai dan Kepulauan Sula merupakan satu mandala geologi tersendiri, daerah Sulawesi Tenggara termasuk lengan timur Sulawesi termasuk mandala Sulawesi Timur sedangkan mandala Sulawesi Barat yang meliputi daerah Sulawesi Selatan, Sulawesi Tengah bagian barat dan Sulawesi Utara. Mandala Banggai-Sula mempunyai urutan sedimen yang menonjol, yang diendapkan selama Jura dan Kapur. Urutan ini menindih batuan sedimen yang diendapkan tak selaras di atas batuan gunungapi dan kompleks alas batuan metamorf dan batuan bersifat granit.



Gambar 2.1. Peta Sulawesi dan Mandala Geologi (Sukamto, 1975)

2.1.1 Geomorfologi Regional

Morfologi daerah Luwuk dapat dibagi menjadi tiga satuan yaitu pegunungan dan Karst, perbukitan dan dataran rendah.

Pegunungan dan Karst

Pegunungan menempati bagian tengah daerah pemetaan dengan puncak tertingginya mencapai 2.255 m di atas muka laut. Morfologi pegunungan dicirikan

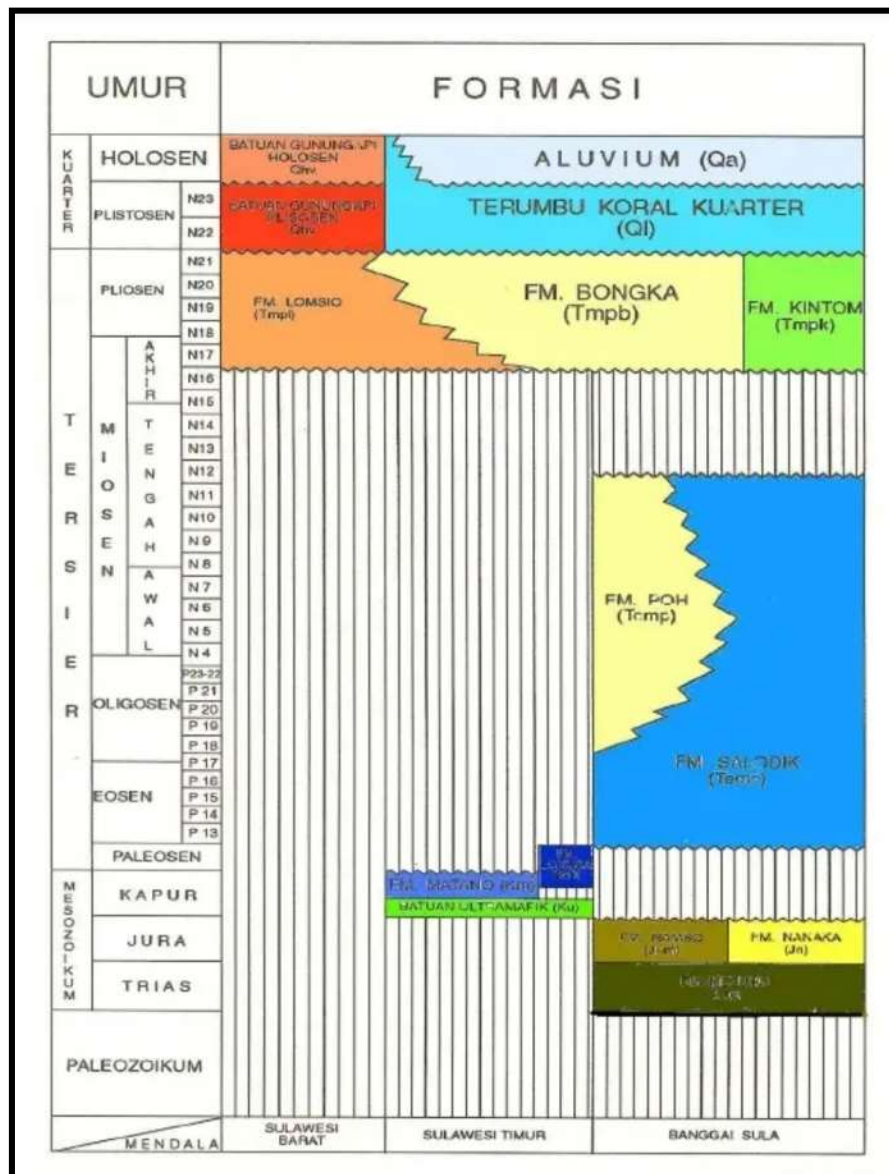
oleh tonjolan yang kasar dan berlereng terjal. Karst berupa dolina, gua dan sungai bawah tanah, dengan batuan yang membentuk morfologi pegunungan ini adalah batuan ultramafic, batuan mafic, dan batugamping pada daerah Karst. Lembah sungai yang mengalir di daerah ini berbentuk V, dan banyak dijumpai air terjun.

Satuan perbukitan menempati daerah diantara pegunungan dan dataran, ketinggiannya berkisar antara 50 sampai 700 m di muka laut. Satuan morfologi ini berlereng landai sampai agak curam dengan batuan yang membentuk morfologi ini ialah batugamping, batuan ultramafic dan mafic, batuan gunungapi dan sedimen klastika. Pola aliran sungai di daerah ini dapat digolongkan sejajar atau hampir sejajar.

Dataran rendah menempati daerah pantai, terutama dibagian utara daerah pemetaan ketinggiannya berkisar antara 0 sampai 50 m di atas muka laut. Dataran terdapat di daerah Ampana, balingara, Bunta, Siuna dan Binsil; kesemuanya terdapat di pantai utara. Sungai yang mengalir di daerah ini umumnya berkelok dan berlembah lebar dan satuan morfologi ini dibentuk oleh endapan sungai dan pantai.

2.1.2. Stratigrafi Regional

Lembar Luwuk secara regional masuk ke dalam Mandala Sulawesi Timur, Banggai Sula, dan Sulawesi Barat.



Gambar 2.2. Kolom Stratigrafi Daerah Penelitian (Rusmana,1993)

Seperti terlihat pada Gambar 2.2. ruang lingkup penelitian terdapat pada mandala Banggai-Sula. Sehingga batuan-batuan penyusunnya adalah: Mesozoikum

Formasi Meluhu (TgJM), merupakan formasi berumur Trias yang disusun oleh batuan metamorf, dengan ketebalan formasi mencapai 750 meter. Formasi ini bersentuhan tektonik dengan kompleks ultramafik.

Formasi Nambo (Jnm), merupakan formasi berumur Jura tengah hingga Jura akhir yang tersusun dari batuan napal dan serpih. Ketebalan formasi ini mencapai 300 meter.

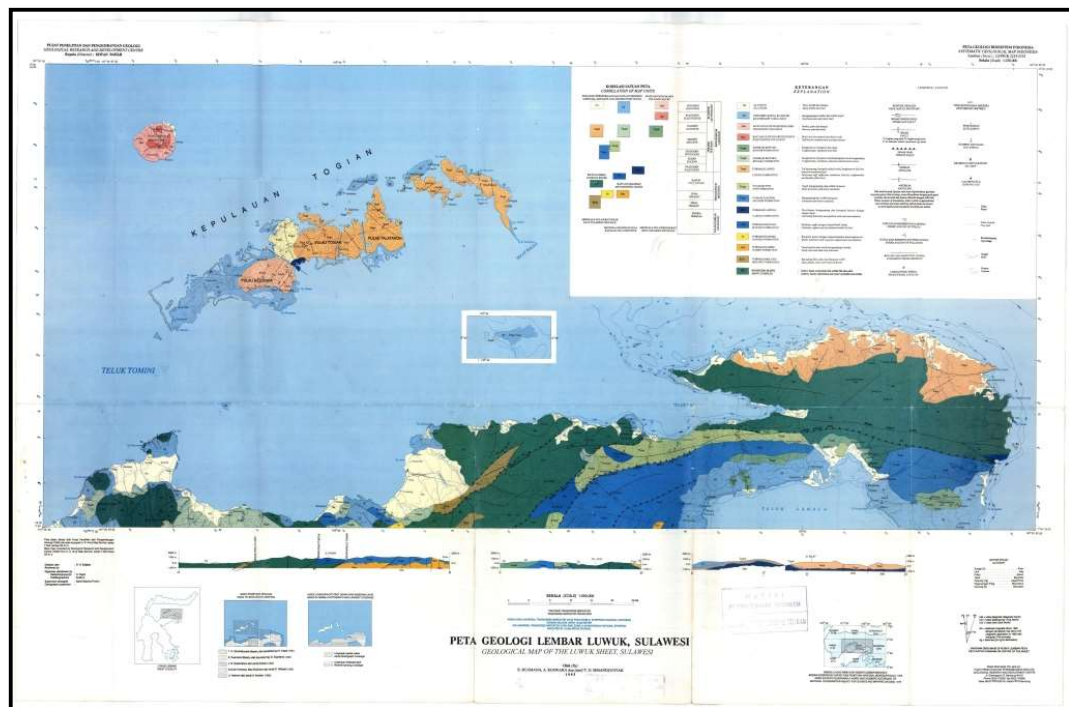
Formasi Nanaka (Jn), merupakan formasi yang berumur Jura akhir, tersusun dari batupasir kuarsa dengan perselingan batupasir lempungan. Ketebalan formasi mencapai 800 meter. Formasi ini tertindih tak selaras oleh formasi Salodik (Tems).

Formasi Salodik (Tems), merupakan batugamping yang kaya akan fosil, dengan umur diperkirakan Eosen hingga Miosen Akhir. Ketebalan formasi ini bisa mencapai 1500 meter.

Formasi Kintom (TmPk), Formasi ini tersusun dari konglomerat, batupasir dan napal di bagian bawahnya. Formasi yang berumur Miosen akhir hingga Pliosen ini mempunyai ketebalan hingga 1200 meter. Formasi ini tertindih tak selaras Formasi Terumbu koral Kuartar.

Terumbu Koral Kuartar (Q1), merupakan formasi yang tersusun oleh batugamping, dan diduga masih terbentuk sampai sekarang. Ketebalan formasi ini mencapai 400 meter.

Aluvium (Qa), Tersusun dari hasil endapan sungai dan pantai. Terdiri dari pasir, kerikil, lumpur dan sisa tumbuhan.



Gambar 2.3. Peta Geologi Daerah Luwuk, Sulawesi (Rusmana,1993)

2.1.3. Struktur dan Tektonik Regional

2.1.3.1 Struktur

Daerah Luwuk terdapat di pulau Sulawesi tepatnya dibagian Tengah, terdapat di daerah subduksi, dan berasosiasi dengan batuan *mafic* dan *ultramafic*. Struktur geologi di daerah ini dicerminkan oleh sesar, lipatan dan kekar.

SESAR

Sesar yang dijumpai berupa sesar naik, sesar bongkah dan sesar geser jurus. Sesar naik diwakili oleh sesar Poh, Sesar Batui dan Sesar Lobu. Kesemuanya diduga mempunyai arah gaya dari tenggara. Gaya tersebut menyebabkan terbentuknya sesar naik dan struktur pergentengan dibagian tengah serta sesar geser

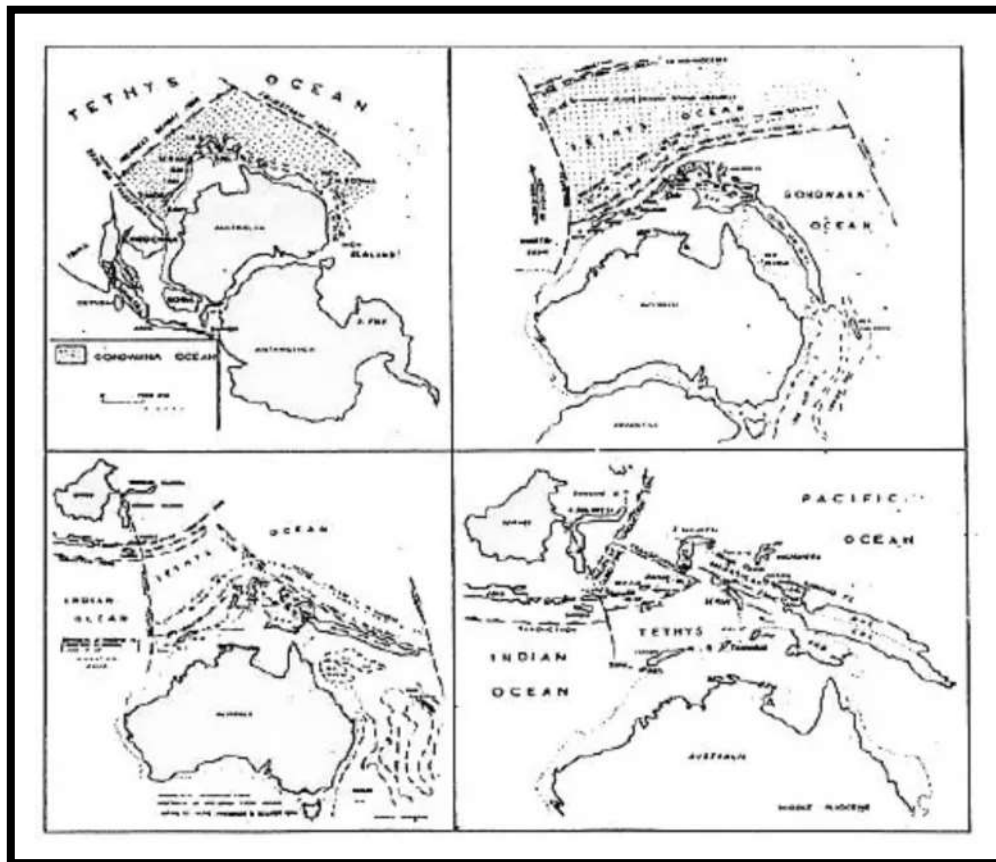
jurus mengiri di bagian timurnya. Sesar bongkah yang utama adalah sesar Salodik, berarah barat timur, melibatkan batuan sedimen Tersier.

2.1.3.2 Lipatan

Struktur lipatan yang ditemukan di daerah ini digolongkan menjadi jenis lipatan lemah terbuka yaitu kelipatan dengan kemiringan lapisan maksimum 30° dan lipatan kuat tertutup dengan kemiringan lapisan lebih dari 30° . Struktur lipatan di daerah ini membentuk antiklin dan sinklin dengan sumbu berarah timurlaut-baratdaya.

2.1.3.3 Tektonik

Hipotesis perkembangan tektonik oleh Audley-Charles (1972) menggambarkan bahwa mandala Sulawesi Barat, mandala Sulawesi Timur dan mandala Banggai-Sula dahulunya terpisahkan satu sama lain, karena suatu perkembangan tektonik bagian-bagian tersebut menjadi satu kesatuan seperti sekarang ini. Mandala Sulawesi Timur digambarkan bahwa pada zaman Mesozoikum merupakan pinggir utara benua Australia, pernyataan ini didasarkan oleh kesamaan fasies, struktur dan anomali gaya berat. Sedangkan batuan sedimen berumur Jura sampai Kapur di mandala Banggai-Sula bergeser ke arah barat sepanjang jalur sesar sorong yang disebabkan perpecahan besar daratan Gondwana yang disusul dengan perputaran.



Gambar 2.4. Perkembangan Tektonik (Audley-Charles, 1972)

2.2 Landasan Teori

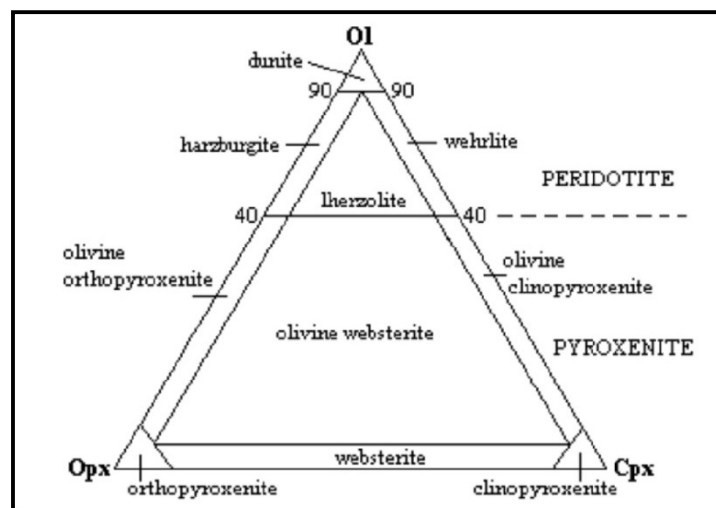
2.2.1. Batuan Ultramafik

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

1. *Olivine*, mineral olivine dalam batuan ultrabasa didominasi oleh *forsterite* (Mg_2SiO_4). umumnya forsterit dalam olivine dapat mencapai kisaran 90% - 92%, sedangkan sisanya berupa *fayalite* (Fe_2SiO_4).
2. *Orthopyroxene*, kandungan alumina dari *Orthopyroxene* pada fasies peridotit garnet umumnya rendah dan bervariasi, biasanya *Orthopyroxene* pada fasies ini digunakan untuk mengetahui tekanan pembentukannya. Secara umum, kandungan CaO pada *Orthopyroxene* sangat bervariasi dan umumnya digunakan untuk mengetahui suhu pembentukan, sedangkan kandungan Na_2O dan TiO_2 dapat mencerminkan komposisi dari peridotit tersebut.
3. *Clinopyroxene*, kandungan aluminium dari *clinopyroxene* pada fasies peridotit garnet umumnya rendah dan bervariasi, biasanya *clinopyroxene* pada fasies ini digunakan untuk mengetahui tekanan pembentukannya. Kandungan Cr_2O_3 pada *clinopyroxene* umumnya tinggi.
4. *Plagioclase*, *plagioclase* dalam peridotit didominasi oleh anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Rasio anortit dalam Peridotit *plagioclase* berkisar antara 50% - 80%, sedangkan sisanya berupa albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$). *Plagioclase* dapat juga ditemukan sebagai mineral sekunder pada peridotit *xenolith* yang menunjukkan komposisi yang basa dan dapat terkait dengan kandungan Na yang relatif tinggi yang membentuk *amphibol*.
5. Spinel, spinel dapat diartikan sebagai mineral atau nama grup mineral. Grup spinel terdiri atas spinel (MgAl_2O_4), *hercynit* (FeAl_2O_4), *magnesiochromite* (MgCr_2O_4), dan *Chromite* (FeCr_2O_4). Umumnya, *lherzolite*

memiliki spinel dengan kandungan Al yang tinggi dan Cr yang rendah, di sisi lain *harzburgite* memiliki kandungan Al yang rendah dan Cr yang tinggi.

6. Garnet, garnet dapat hadir pada mantel *xenolith* yang dibawa oleh basalt alkali dan kimberlit, juga ditemukan pada *depleted peridotite*. Analisis garnet dari peridotit garnet menunjukkan bahwa garnet mampu memperlihatkan zonasi komposisi yang cukup penting dari inti ke tepi.



Gambar 2.5 Klasifikasi IUGS Batuan Ultrabasa *Streckeisen* (1976)

Berdasarkan klasifikasi dari *Streckeisen* (1976) memperlihatkan klasifikasi untuk batuan ultramafik (Gambar 2.5). Di mana dalam klasifikasi ini batuan intrusi dan ekstrusi dipisahkan. Klasifikasi ini pembagiannya berdasarkan kandungan mineraloginya, yang terbagi dalam empat jenis mineral.

Pada kenyataannya, istilah untuk “ultrabasa” dan “ultramafik” tidak identik. batuan yang mengandung sangat sedikit silika dinamakan batuan ultrabasa. Perlu diketahui bahwa istilah “ultrabasa” hanya menunjukkan kandungan silika yang sedikit tanpa menyiratkan kehadiran mineral-mineral *ferromagnesian*. Sedangkan

istilah untuk batuan “ultramafik“ hanya menunjukkan kehadiran dari mineral mafik tanpa mempertimbangkan kandungan silika. (Ahmad, 2006)

Tabel 2.1 Perbedaan batuan Ultramafik dan Ultrabasa (Ahmad, 2006).

Nama Batuan	Ultramafic rock (Mafics > 70%)	Ultrabasic rock (Silica <45%)
Dunit	Yes, mafics 100%	Yes, silica = 43%
Serpentine	Yes, mafics 100%	Yes, silica = 43%
Hazburgite (50% <i>olivine</i> , 50% enstatite)	Yes, mafics 100%	No, silica = 51%
Orthopyroxenite (enstatite)	Yes, mafics 100%	No, silica = 60%
Anorthosite	No, mafics < 10%	Yes, silica = 43%

2.2.1.1 Peridotit

Peridotit biasanya membentuk suatu kelompok batuan ultrabasa yang disebut ofiolit, umumnya membentuk tekstur kumulus yang terdiri atas *harzburgite*, *lherzolite*, *wherlite*, dan *dunite*. Peridotit tersusun atas mineral–mineral holokristalin dengan ukuran medium–kasar dan berbentuk anhedral. Komposisinya terdiri dari *olivine* dan *pyroxene*. Mineral aksesorisnya berupa *plagioclase*, *hornblende*, *biotite*, dan garnet (Williams, 1954).

2.2.1.2 Dunit

Dunit merupakan batuan yang hampir murni *olivine* (90% - 100%). Ahmad (2002) menyatakan bahwa dunit memiliki komposisi mineral hampir seluruhnya adalah monomineralik *olivine* (umumnya *magnesia olivine*), mineral aksesorisnya meliputi *chromite*, *magnetite*, *ilmenite*, dan spinel.

Pembentukan dunit berlangsung pada kondisi padat atau hampir padat (pada temperatur yang tinggi) dalam larutan magma, dan sebelum mendingin pada temperatur tersebut, batuan tersebut siap bersatu membentuk massa *olivine* anhedral yang saling mengikat (Williams, 1954).

2.2.1.3 Serpentin

Serpentin merupakan batuan hasil alterasi hidrotermal dari batuan ultrabasa, dimana mineral-mineral *olivine* dan *pyroxene* jika teralterasi akan membentuk mineral serpentin. Serpentin sangat umum memiliki komposisi batuan berupa *monomineralik* serpentin, batuan tersebut dapat terbentuk dari serpentinisasi dunit, peridotit (Ahmad, 2002). Serpentin tersusun oleh mineral grup serpentin > 50 % (Williams, 1954).

Menurut Hess (1965) dalam Ringwood (1975), bahwa pada prinsipnya kerak serpentin dapat dihasilkan dari mantel oleh hidrasi dari mantel ultrabasa (mantel peridotit dan dunit) di bawah punggung tengah samudera (*Mid Ocean Ridge*) pada temperatur <5000C. Serpentin kemudian terbawa keluar melalui migrasi litosfer. Serpentinisasi pada mineral *olivine*, bahwa Serpentin merupakan suatu pola mineral dengan komposisi $H_4Mg_3Si_2O_9$, terbentuk melalui alterasi hidrotermal dari mineral *ferromagnesian* seperti *olivine*, *pyroxene* dan amfibol (Ahmad, 2002).

Umumnya alterasi pada *olivine* dimulai pada pecahan/retakan pada kristalnya, secepatnya keseluruhan kristal mungkin teralterasi dan mengalami pergantian serpentinisasi pada *olivine* memerlukan penambahan air, pelepasan

magnesia atau penambahan silika, pelepasan besi (Mg, Fe) pada *olivine*, konversi pelepasan besi dari bentuk *ferrous* (Fe^{2+}) ke ferri (Fe^{3+}) ke bentuk magnetit (Ahmad, 2002).

2.2.1.4 Piroksinit

- a. *Orthopyroxenites: Bronzites*
- b. *Clinopyroxenites: Diopsidites; diallagites*

Menurut Ahmad (2002), piroksinit merupakan kelompok batuan ultramafik monomineral dengan kandungan mineral yang hampir sepenuhnya adalah *pyroxene*. Dalam hal ini *pyroxene* diklasifikasikan lebih lanjut apakah masuk kedalam *pyroxene orthorombic* atau monoklin.

2.2.1.5 Hornblendit

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

- a. Dunit mengandung komposisi *olivine* > 90%
- b. *Harzburgite*, batuan ultrabasa berbutir kasar yang terdiri atas *olivine* (> 40%) + *orthopyroxene*
- c. *Lherzolite*, batuan ultrabasa berbutir kasar yang terdiri atas *olivine* (> 40%) + *orthopyroxene* + *clinopyroxene*
- d. *Wherlite*, batuan ultrabasa berbutir kasar yang terdiri atas *olivine* (>40%) + *clinopyroxene*

- e. *Websterite*, termasuk piroksenit yang terdiri atas *orthopyroxene* dan *clinopyroxene*. *Websterite* yang terdiri atas *olivine* (10% - 40%) disebut *olivine websterite*.

2.2.2. Serpentinisasi

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

Beberapa hal terjadinya proses serpentinisasi adalah adanya penambahan air, adanya pelarutan magnesia (atau penambahan silika), adanya pelepasan besi dalam olivine (Fe, Mg), konversi besi yang lepas dari ikatan ferro (Fe^{2+}) menjadi ferri (Fe^{3+}) untuk membentuk magnetit berbutir halus. Akibatnya batuan terserpentinisasi umumnya akan menjadi lebih magnetik, atau kemunculan mineral serpentin pada batuan dasar penghasil laterit terkadang memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap karakterisasi tanah laterit yang ada.

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

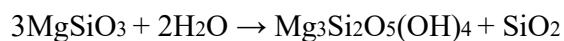
pembentukan karakteristik tanah laterit yang ada terutama pada pengkayaan unsur logam Ni pada tanah laterit. Proses serpentinisasi akan menyebabkan perubahan tekstur mineralogi dan senyawa pada mineral olivine maupun piroksen pengurangan atau perubahan komposisi unsur Mg, Ni dan Fe pada mineralnya.

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

Reaksi serpentinisasi secara kimia dapat dituliskan sebagai berikut :

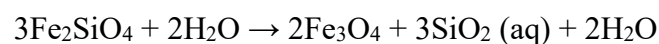


Forsterit Serpentin Brusit



Enstatit Serpentin

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



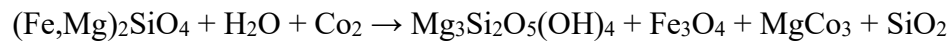
Fayalit Magnetit



Ferrosilit Magnetit

Pada rumus diatas menjelaskan bahwa oksigen penting dalam pembentukan magnetit yang mana oksigen tersebut diekstrak dari dekomposisi air dan

menghasilkan hidrogen. Pada kondisi tertentu dengan hadirnya karbon dioksida, proses serpentinisasi dapat membentuk magnetit dan magnesit.



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

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

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

2.2.3. Nikel

Nikel (Ni) merupakan logam yang keras dan tahan korosi, serta cukup reaktif terhadap asam dan lambat bereaksi terhadap udara pada suhu dan tekanan normal. Logam ini cukup stabil dan tidak dapat bereaksi terhadap oksida sehingga sering digunakan sebagai koin dan pelapis dan sifatnya paduan. Dalam dunia industri, nikel adalah salah satu logam yang paling penting dan banyak memiliki

aplikasi; 62% dari logam nikel digunakan untuk baja tahan karat, 13% sebagai *superalloy* dan paduan tanpa besi karena sifatnya yang tahan korosi dan suhu tinggi (Astuti, W. Dkk, 2011).

Endapan Nikel laterit terbentuk dari akibat proses pelapukan batuan ultramafik, yang merupakan campuran kompleks mineral-mineral ferromagnesian seperti *olivine* $[(\text{Fe},\text{Mg})_2\text{SiO}_4]$, *pyroxene* $[\text{Fe},\text{Mg}]_2\text{Si}_2\text{O}_6$ dan *amphibole* $[(\text{Fe},\text{Mg})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2]$. Akibatnya, endapan banyak ditemukan di daerah tropis seperti Kuba, Indonesia, Kaledonia Baru, Filipina dan Amerika Selatan.

Indonesia memiliki cadangan bijih nikel laterit yang cukup besar terutama di Sulawesi, Halmahera, Papua dan Kalimantan. Cadangan bijih nikel tersebut sekitar 1576 Mt atau 15% dari cadangan nikel di dunia; dengan jumlah sebesar itu baru dua perusahaan yang mengolah bijih nikel terutama saprolit (nikel berkadar tinggi), yaitu PT.Vale menjadi nikel matte dan PT. Antam menjadi ferronikel. Sebagian besar bijih nikel, terutama limonit berkadar nikel rendah masih diekspor dalam bentuk mentah dan sisanya masih merupakan material yang belum diolah (Astuti, 2011).

2.3 Genesis Endapan Nikel

Bijih nikel terdiri atas Ni-sulfida (*nickel sulphides*) dan Ni-laterit (*nickel laterites*). Mineral Ni-Sulfida umumnya terbentuk secara primer dan berasosiasi dengan batuan mafik dan ultramafik (piroksenit, harzburgit, dan dunit). Endapan bijih nikel ini juga terjadi bersama-sama bijih kromit (Cr) dan PGM, sedangkan Ni-laterit merupakan bentuk sekunder endapan Ni-sulfida. Laterisasi adalah proses

pelapukan batuan secara kimiawi yang berlangsung dalam waktu lama pada kondisi iklim basah. Prosesnya melibatkan penguraian mineral induk atau primer yang tidak stabil pada kondisi lingkungan basah dan pelepasan unsur-unsur kimianya ke dalam air tanah. Komponen yang tidak terurai membentuk mineral baru yang stabil pada kondisi lingkungan tersebut. Ni-laterit adalah hasil laterisasi batuan ultramafik yang mengandung nikel seperti peridotit dan serpentinit. Hal ini dapat berlangsung karena adanya air permukaan yang bersifat asam sehingga dapat melarutkan nikel, magnesium dan silikon yang terkandung dalam batuan dasar. Berbeda dengan Ni-sulfida yang ditemukan pada kedalaman ratusan meter di bawah permukaan tanah, Ni-laterit terdapat pada kedalaman yang relatif lebih dangkal, yaitu sekitar 15–20 meter di bawah permukaan tanah. Endapan Ni-laterit cenderung berkadar rendah dengan jumlah yang melimpah.

Secara horizontal penyebaran nikel tergantung kepada arah aliran air tanah dan bentang alam. Air tanah di zona pelindian mengalir dari pegunungan ke arah lereng sambil membawa unsur Ni, Mg, dan Si. Berdasarkan cara terjadinya, endapan nikel dapat digolongkan menjadi dua macam, yaitu endapan bijih Ni-sulfida (primer) dan Ni-laterit (sekunder). Proses pembentukan Ni-laterit merupakan proses dekomposisi sekunder endapan Ni-sulfida yang diawali dari pelapukan batuan ultrabasa seperti harzburgit, dunit, dan piroksenit. Dalam deret Bowen, batuan ini banyak mengandung *olivine*, *pyroxene*, magnesium silikat dan besi. Mineral-mineral tersebut tidak stabil dan mudah mengalami pelapukan. Media transportasi nikel yang terpenting adalah air. Air tanah kaya CO₂ berasal dari udara dan tumbuhan akan menguraikan mineral yang terkandung dalam batuan ultrabasa

tersebut. Kandungan *olivine*, *pyroxene*, magnesium silikat, besi, nikel dan silika akan terurai dan membentuk suatu larutan.

Endapan ini akan terakumulasi dekat ke permukaan tanah, sedangkan magnesium, nikel dan silikon akan tetap tertinggal di dalam larutan dan bergerak turun selama suplai air yang masuk ke dalam tanah terus berlangsung. Rangkaian proses ini merupakan proses pelapukan dan pelindian. Unsur Ni merupakan unsur tambahan di dalam batuan ultrabasa. Sebelum proses pelindian berlangsung, unsur Ni berada dalam ikatan kelompok silikat terutama *olivine* dan serpentin. Rumus kimia kelompok silikat adalah $M_2^{-3}SiO_2O_5(OH)_4$, dengan variabel M merupakan unsur-unsur seperti Cr, Mg, Fe, Ni, Al, Zn atau Mn atau dapat juga merupakan kombinasinya.

Adanya suplai air yang mengalir melalui kekar akan membawa nikel turun ke bawah dan lambat laun akan terkumpul di zona permeabel yang tidak dapat menembus batuan induk. Apabila proses ini berlangsung terus menerus, maka akan terjadi proses pengayaan supergen yang berada di zona saprolit. Dalam satu penampang vertikal profil laterit dapat terbentuk zona pengayaan lebih dari satu karena muka air tanah yang selalu berubah-ubah akibat perubahan musim.

Di bawah zona pengayaan supergen terdapat zona mineralisasi primer yang tidak terpengaruh oleh proses oksidasi maupun pelindian, yang sering disebut sebagai zona hipogen. Zona pelapukan kimiawi yang kaya akan bijih nikel berada pada zona saprolit. Bijih nikel tidak hanya berasosiasi dengan garnierit, tapi Ni juga dapat mensubstitusi Fe dan Mg pada mineral silikat, khususnya serpentin. Komposisi kimia dari mineral-mineral mafik (termasuk *olivine*) dalam Iherzolit

yang mengandung Ni dan Cr misalnya pada endapan Ni-laterit Soroako, Sulawesi Selatan (Atmadja, 1974).

Pembentukan nikel laterit dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya adalah (Sutisna, 2006):

- a. Batuan asal. Adanya batuan asal merupakan syarat utama untuk terbentuknya endapan nikel laterit. Batuan asal yang berperan penting dalam pembentukan nikel laterit berupa batuan ultrabasa seperti harzburgit. Batuan ultrabasa mengandung mineral-mineral yang kurang stabil dan mudah melapuk seperti olivine dan piroksin. Oleh karena itu, batuan ultrabasa mempunyai komponen-komponen yang mudah larut dan memberikan lingkungan pengendapan yang baik untuk nikel.
- b. Iklim. Adanya pergantian musim kemarau dan musim penghujan menyebabkan terjadinya kenaikan dan penurunan permukaan air tanah, juga dapat menyebabkan terjadinya proses pemisahan dan akumulasi unsur-unsur. Perbedaan temperatur yang cukup besar akan mempercepat terjadinya pelapukan mekanis, menyebabkan rekahan dalam batuan yang akan mempermudah proses atau reaksi kimia pada batuan.
- c. Senyawa kimia dan vegetasi. Senyawa kimia merupakan faktor yang mempercepat proses pelapukan, seperti air tanah mengandung CO_2 yang bersifat asam berperan penting dalam proses pelapukan kimia. Terkait dengan faktor vegetasi terdapat asam humus yang menyebabkan dekomposisi batuan serta mengubah pH larutan. Jenis vegetasi suatu daerah erat hubungannya dengan terbentuknya asam humus di daerah tersebut.

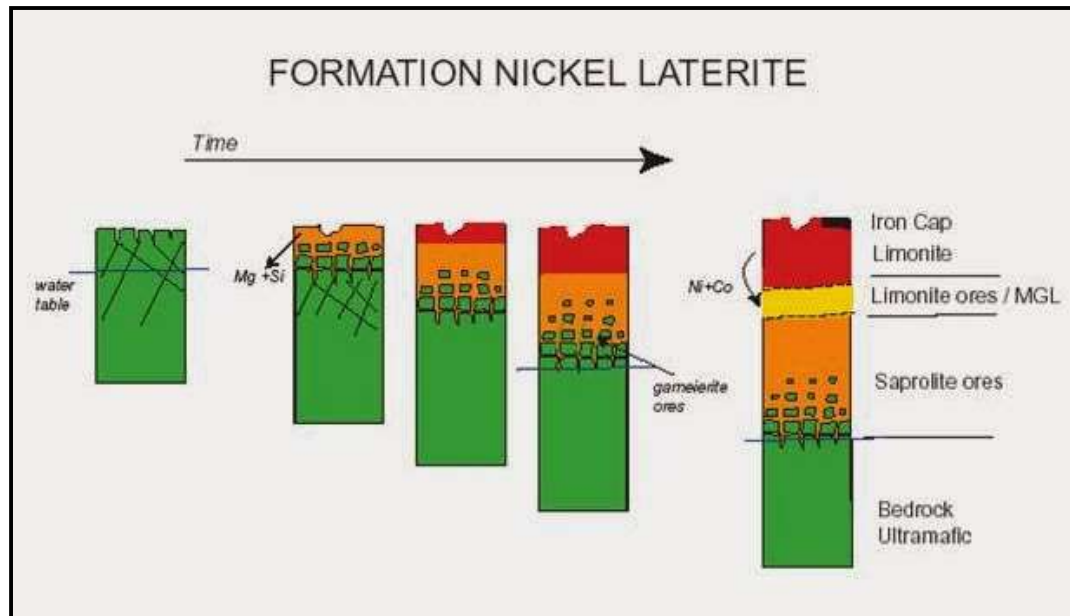
Dalam hal ini, vegetasi yang rapat dan bervariasi mempengaruhi penetrasi air lebih dalam sehingga air tanah yang terkumpul akan lebih banyak dan untuk terbentuknya lebih tebal. Kondisi ini merupakan lingkungan yang baik untuk terbentuknya endapan nikel berkadar tinggi.

- d. Struktur geologi. Batuan beku mempunyai porositas dan permeabilitas yang kecil sehingga penetrasi air sangat sulit, dengan adanya rekahan batuan akan lebih memudahkan masuknya air sehingga proses pelapukan akan lebih intensif. Sebagai contoh, di daerah Pomalaa terdapat struktur kekar yang lebih dominan dibandingkan dengan struktur patahannya. Daerah ini disusun oleh batuan ultrabasa sebagai saluran tempat naiknya magma yang mengandung unsur nikel, sehingga struktur ini menjadi salah satu factor dalam pembentukan cebakan bijih nikel.
- e. Topografi. Topografi setempat sangat berpengaruh terhadap sirkulasi air dan senyawa lain; untuk daerah landau, air akan bergerak perlahan sehingga dapat menembus batuan lebih dalam melalui rekahan atau pori batuan. Endapan mengandung nikel akan terakumulasi pada daerah landau sampai kemiringan sedang. Hal ini menunjukkan ketebalan pelapukan tergantung kepada bentuk topografi. Pada daerah yang curam, air limpasan (run off) lebih banyak daripada air yang meresap sehingga pelapukannya kurang intensif.
- f. Waktu. Semakin lama waktu pelapukan semakin besar endapan nikel yang terbentuk.

Pembentukan nikel laterit yang terdiri atas empat horizon yaitu (Kadarusman, 2004):

- 1) Tudung besi (*iron cap*) yang merupakan campuran gutit dan limonit berwarna merah tua. Lapisan ini mempunyai kadar besi tinggi dan nikel rendah, yaitu sekitar 60% Fe. Kadang-kadang ditemukan hematit dan kromiferus yang merupakan lapisan paling atas dari bijih laterit dan menjadi overburden pada saat penambangan bijih nikel laterit.
- 2) Lapisan limonit, merupakan lapisan yang kaya besi sekitar 40-50% Fe, berukuran halus dan berwarna merah coklat atau kekuningan. Dalam limonit, sebagian besar nikel berada dalam gutit (sebagai larutan padat), sebagian lagi berada dalam oksida mangan dan litioforit. Dalam lapisan ini juga kadang-kadang ditemukan talk, tremolit, kromiferus, kuarsa, gipsit dan magemit.
- 3) Lapisan saprolit. Dalam lapisan ini, mineral utamanya adalah serpentin ($Mg_3Si_2O_5(OH)_4$); nikel mensubstitusi Mg. Bijih saprolit memiliki kandungan nikel lebih tinggi daripada yang terdapat pada lapisan limonit, yaitu sekitar 1,5-3% Ni. Kandungan magnesia dan silikanya juga lebih tinggi, namun kadar besinya rendah.
- 4) Batuan dasar (*bed rock*). Bagian ini berbentuk bongkah berukuran >75 cm. Secara umum kadar nikelnya kecil, sekitar 0,2 - 0,4% nikel. Zona ini mengalami perengkahan kuat dan kadang-kadang bersifat terbuka dan terisi oleh garnierit dan silika. Perengkahan ini diperkirakan menjadi *root zone*


yaitu suatu zona dengan kandungan nikel tinggi berupa urat dalam batuan dasar.



Gambar 2.6. Pembentukan Endapan Nikel (Kadariusman, 2004)

Berdasarkan tipe mineral yang dominan, bijih nikel laterit di dunia dapat diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) tipe, yaitu (Mubarok & Lieberto, 2013):

- a) Laterit oksida (*oxide laterites*) merupakan produk yang paling umum proses laterisasi. Sebagian besar terdiri atas Fe-hidroksida di bagian atas lapisan bijih;
- b) Laterit lempung (*clay laterite*). Sebagian besar terdiri atas lempung semektit pada bagian atas lapisan bijih;
- c) Laterit silikat, terbentuk pada bagian yang lebih dalam dan mungkin dilapisi oleh laterit oksida. Sebagian besar terdiri atas Mg-Ni silikat (serpentin, *garnierite*).

SCHEMATIC LATERITE PROFILE	COMMON NAME	APPROXIMATE ANALYSIS (%)			
		Ni	Co	Fe	MgO
	RED LIMONITE	<0.8	<0.1	>50	<0.5
	YELLOW LIMONITE	0.8 to 1.5	0.1 to 0.2	40 to 50	0.5 to 5
	TRANSITION	1.5 to 4	0.02 to 0.1	25 to 40	5 to 15
	SAPROLITE/ GARNIERITE/ SERPENTINE	1.8 to 3		10 to 25	15 to 35
	FRESH ROCK	0.3	0.01	5	35 to 45

Gambar 2.7. Profil Laterit

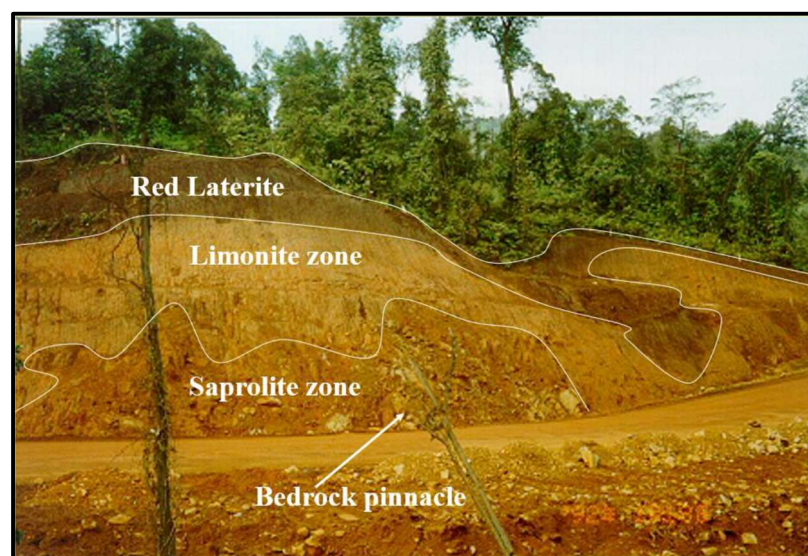


Foto 2.8. Tipe Profil Laterit

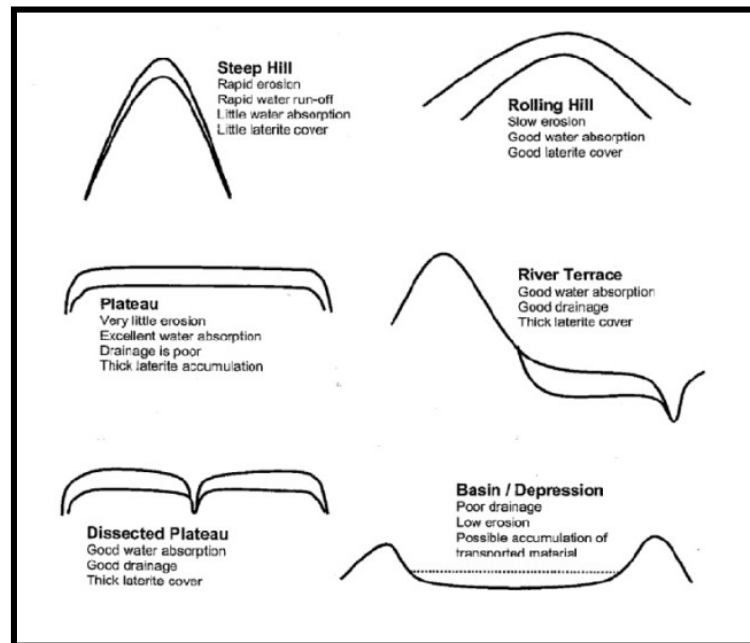
2.4. Hubungan Morfologi dan Topografi dalam Pembentukan Nikel Laterit

Salah satu faktor yang berperan dalam proses pembentukam laterisasi adalah morfofologi dan topografi. Bentuk morfologi suatu daerah sangat dipengaruhi oleh bentuk morfologi bawah permukaan khususnya morfologi batuan dasarnya. Topografi mempunyai peranan yang sangat besar pada proses laterisasi yang didasarkan beberapa factor (Maulana A, 2017):

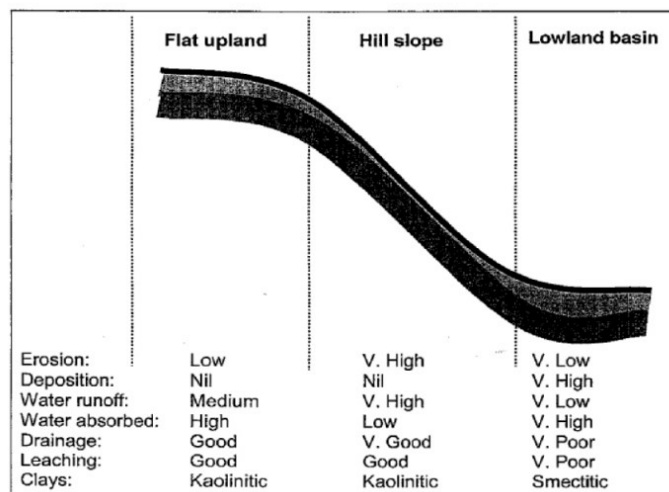
1. Penyerapan air hujan (pada *slope* curam umumnya air hujan akan mengalir ke daerah yang lebih rendah/*run off* dan penetrasi ke batuan akan sedikit. Hal ini menyebabkan pelapukan fisik lebih besar dibanding pelapukan kimia).
2. Daerah ketinggian memiliki *drainase* yang lebih baik daipada daerah rendah dan daerah datar.
3. *Slope* yang kurang dari 20° memungkinkan untuk menahan laterit dan erosi.

Pada proses pengayaan nikel, air yang membawa nikel akan terlarut akan sangat berperan dan pergerakan ini dikontrol oleh topografi. Secara kualitatif, pada lereng dengan derajat tinggi (curam) maka proses pengayaan akan sangat kecil atau tidak ada sama sekali karena air pembawa Ni akan mengalir. Bila proses pengayaan kecil maka pembentukan bijih (*ore*) juga akan kecil (tipis), sedangkan pada daerah dengan lereng sedang atau landai proses pengayaan umumnya berjalan dengan baik karena *run off* kecil sehingga ada waktu untuk proses pengayaan, dan umumnya *ore* yang terbentuk akan tebal. Akibat lereng yang sangat curam maka erosi yang terjadi sangat kuat hingga mengakibatkan zona limonit dan saprolit terrosi. Hal ini dapat

terjadi selama proses laterisasi atau setelah terbentuknya zona diatas batuan dasar (*bed rock*).



Gambar 2.9. Klasifikasi sederhana antara bentuk lahan dan proses laterisasi (Achmad, 2001)



Gambar 2.10. Hubungan topografi terhadap proses laterisasi (Achmad, 2001)