

SKRIPSI

**ANALISIS TOPOGRAFI TERHADAP KETEBALAN
DAN KADAR NI BLOK X PT. VALE INDONESIA TBK
KABUPATEN LUWU TIMUR PROVINSI SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh

**RATU AISYAH SYARIFUDDIN
D061181037**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**ANALISIS TOPOGRAFI TERHADAP KETEBALAN DAN KADAR Ni
BLOK X PT.VALE INDONESIA TBK KABUPATEN LUWU TIMUR
PROVINSI SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh :

RATU AISYAH SYARIFUDDIN
D061181037

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

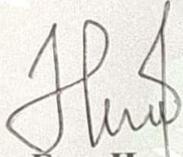
Gowa, 24 Agustus 2023

Menyetujui,

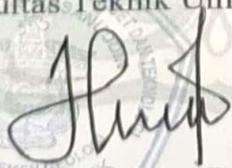
Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping


Dr. Ulva Ria Irvan, S.T., M.T.
NIP. 197006061994122000


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

Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin


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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ratu Aisyah Syarifuddin

NIM : D061181037

Program Studi : Teknik Geologi

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul

Analisis Topografi Terhadap Ketebalan Dan Kadar Ni Blok X

Pt. Vale Indonesia Tbk Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan

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

Apabila 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, 20 Agustus 2023

Yang menyatakan,



Ratu Aisyah Syarifuddin

ABSTRAK

RATU AISYAH SYARIFUDDIN. *Analisis Topografi Terhadap Ketebalan Dan Kadar Ni Blok X Pt. Vale Indonesia Tbk Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan* (dibimbing oleh Dr.Ulva Ria Irfan,S.T.,MT dan Dr.Eng.Hendra Pachri,S.T.,M.Eng)

Daerah penelitian berada pada daerah konsesi PT. Vale Indonesia Tbk Soroako Kecamatan Towuti Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan merupakan daerah yang sebagian besar tersusun oleh batuan ultrabasa yang bervariasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui profil laterit pada *Block West*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu melakukan pengamatan di lapangan dan data *drillhole*, analisis laboratorium berupa geokimia. Data diolah dengan menggunakan *software Arcgis 10.8, Microsoft Excel* dan *CorelDraw* untuk menghasilkan *section*. Berdasarkan hasil penelitian profil laterit daerah penelitian dibagi menjadi 3 zona yaitu Limonit, Saprolit, dan Batuan Induk, masing-masing zona memiliki ketebalan yang berbeda yang dipengaruhi oleh pelapukan, morfologi, dan intensitas struktur, unsur geokimia masing-masing profil laterit yaitu limonit dengan kandungan unsur Ni 1.28%, Fe 47,47%, SiO 9,96%, MgO 1.34%, dan Co 0.08%. Pada saprolit dengan kandungan unsur Ni 1,75%, Fe 12.28%, SiO₂ 44,97%, MgO 26,94%, dan Co 0.08%. Pada batuan dasar dengan kandungan unsur Ni 0.170%, Fe 2.21%, SiO₂ 11.48%, MgO 5.16%, dan Co 0.01%. Ketebalan dan kadar pada lapisan limonit dan saprolit dapat dipengaruhi oleh kemiringan lereng. Dapat dilihat pada pembagian lereng yang telah dilakukan pada blok X PT. Vale Indonesia Tbk. Dari penelitian ini diharapkan akan muncul penggambaran yang jelas mengenai zona distribusi nikel laterit, yang digunakan sebagai acuan dalam proses penambangan bijih nikel dan pola korelasi bijih nikel.

Kata kunci : Nikel,ketebalan,limonit, saprolit

ABSTRACT

RATU AISYAH SYARIFUDDIN. *Topographic Analysis Of Thickness And Roughness Of Ni Block X Pt.Vale Indonesia Tbk Eastern Luwu Distric Of Southern Sulawesi (guided by Dr.Ulva Ria Irfan,S.T.,MT and Dr.Eng.Hendra Pachri,S.T.,M.Eng)*

The research area is located on the concession area of PT. Vale Indonesia TBK Soroako Sub-district of East Luwu District, South Sulawesi Province is an area that is largely composed by the various Ultrabasa. The purpose of this research is to know laterite profile on the area of X East Block. The method used in this research is to conduct observations in the field and data Drillhole, laboratory analysis in the form of geochemistry. Data was processed using Arcgis 10.8 software, Microsoft Excel and CorelDraw to generate the section. Based on the research of Laterite profile research area divided into 3 zones, namely Limonite, Saprolit, and the stem rocks, each zone has different thickness that is influenced by weathering, morphology, and intensity of structures, the geochemical elements of each laterite profile are limonite with the content of elements Ni 1.28%, Fe 47,47%, SiO 9,96%, MgO 1.34%, and Co 0.08%. In Saprolit with the content of the Ni 1,75%, Fe 12.28%, SiO₂ 44,97%, MgO 26,94%, and Co 0.08%. In the base rock with the element content of Ni 0.170%, Fe 2.21%, SiO₂ 11.48%, MgO 5,.16%, and Co 0.01%. The thickness and content of the limonite and saprolite layers can be affected by the slope of the slope. It can be seen in the slope division that has been done on block X PT Vale Indonesia Tbk.From this research is expected to appear a clear depiction of the nickel laterite distribution zone, which is used as a reference in the nickel ore mining process and nickel ore correlation patterns.

Keywords: *Nickel, depth, limonit, saprolit*

KATA PENGANTAR

Assalamu' Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT karena berkat atas izin, rahmat serta hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Topografi Terhadap Ketebalan Dan Kadar Ni Blok X Pt. Vale Indonesia Tbk Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan**”. Penyusunan laporan ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak yang telah memberikan semangat dan do'a kepada penulis dalam menghadapi setiap tantangan, sehingga sepatutnya pada kesempatan ini penulis menghaturkan rasa terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng selaku Ketua Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin dan pembimbing pendamping.
2. Ibu Dr. Ulva Ria Irvan, S.T.,MT selaku Penasehat Akademik dan pembimbing utama yang juga memberikan arahan selama pembuatan laporan.
3. Bapak Prof.Dr. Adi Tonggiroh,S.T.,M.T sebagai dosen penguji yang telah memberikan arahan dan saran kepada penulis.
4. Bapak Ilham Alimuddin ,S.T,MGIS,PhD sebagai dosen penguji yang telah memberikan arahan dan saran kepada penulis.
5. Bapak Jasman., S.T dan Bapak Erwin., S.T sebagai pembimbing kuliah praktik yang telah memberikan ilmu dan pengalaman selama penulis mengikuti kuliah praktik.
6. Kedua orangtua tercinta, Ibunda Hasnah Azis dan Ayahanda Syarifuddin Syamsuddin yang selalu memberikan doa yang tak pernah putus dan dukungan secara mental dan finansial dengan cara terbaiknya.
7. Adik tercinta Ratna Syarifuddin dan Rafifah Rezki Syarifuddin yang memberikan doa serta dukungan kepada penulis.
8. Saudari-saudariku Dewi Purnama, Nurrahmani Parakkasi, Risna Putri Asdarina dan Chece Kirani Saputri yang banyak memberi dukungan dan kesan menyenangkan selama perkuliahan.

9. Teman-teman geologi angkatan 2018 (XENOLITH) atas bantuan selama pengelolaan dan penyusunan laporan penelitian serta doa dan dukungannya.
10. Kepada HMG FT-UH dan SKL BE HMG FT-UH yang banyak memberikan pelajaran kepada penulis.
11. Basis Angkatan XXXIII yang banyak memberi dukungan kepada penulis.
12. Bapak/Ibu staf departemen Teknik Geologi yang membantu penulis selama mengurus administrasi.
13. Kedua orangtua tercinta yang selalu memberikan doa dan dukungan terbaiknya.
14. Teman-teman geologi angkatan 2018 (XENOLITH) atas bantuan selama pengelolaan dan penyusunan laporan penelitian serta doa dan dukungannya.
15. Pihak-pihak lain yang tidak sempat penulis sebutkan yang juga telah turut membantu dalam pembuatan laporan ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan koreksi dan saran yang sifatnya membangun sebagai bahan masukan yang bermanfaat demi perbaikan dan peningkatan diri dalam bidang ilmu pengetahuan.

Akhir kata semoga tugas akhir ini dapat dimanfaatkan dan dapat memberikan sumbangsih pemikiran untuk perkembangan pengetahuan bagi penulis maupun bagi pihak yang berkepentingan.

Gowa, 20 Agustus 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Lokasi, Luas, Dan Kesampaian Daerah Penelitian.....	3
1.6 Manfaat Penelitian	4
1.7 Peneliti Terdahulu	4
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Geologi Regional	5
2.1.1 Geomorfologi.....	5
2.1.2 Stratigrafi	5
2.1.3 Struktur Geologi	7
2.2 Kompleks Ultramafik.....	11
2.2.1 Ultramafik	11
2.2.2 Ofiolit.....	14
2.2.3 Endapan Nikel Laterit	15
2.2.4 Genesa Endapan Nikel Laterit	16
2.2.5 Faktor – faktor yang Mempengaruhi Perkembangan Profil Laterit.....	18
2.2.6 Penyebaran dan Penampang Endapan Nikel Laterit.....	23
2.3 Pelapukan Endapan Nikel Laterit	27

2.4	Metode <i>Inverse Distance Weighting</i> (IDW).....	30
	BAB III.....	31
	METODE PENELITIAN	31
3.1	Tahap Persiapan.....	31
3.2	Tahap Studi Pustaka	31
3.3	Tahap Observasi dan Pengambilan Data	31
3.3.1	Tahap Observasi dan Pengambilan Data Lapangan	31
3.3.2	Tahap Preparasi dan Analisa Laboratorium	33
3.3.2.1	Tahap Preparasi Sampel Basah.....	33
3.3.2.2	Tahap Preparasi Sampel Kering (<i>Pulp Preparation</i>)	34
3.3.3.3	Tahap Analisis Laboratorium	35
3.4	Analisis Data	39
3.5	Penyusunan Laporan	39
3.6	Diagram Alir.....	40
	BAB IV.....	41
	PEMBAHASAN	41
4.1	Batuan Dasar.....	41
4.1.1	Batuan Ultramafik Daerah Penelitian.....	41
4.1.2	Kenampakan Morfologi dan Analisis Topografi Daerah Penelitian	42
4.2	Pengaruh Ketebalan Terhadap Kadar Unsur Lapisan Limonit dan Saproilit	45
4.2.1	Distribusi ketebalan lapisan limonit dan saproilit	45
4.2.2	Pengaruh Ketebalan terhadap Kadar Unsur	50
4.2.3	Karakteristik Bijih Nikel (ore) pada daerah penelitian.....	54
4.3	Pengaruh Topografi Terhadap Ketebalan Dan Kadar Ni	59
	BAB V.....	62
	PENUTUP.....	62
5.1	Kesimpulan.....	62
	DAFTAR PUSTAKA.....	63
	LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta Tunjuk lokasi	3
2. Peta geologi regional daerah penelitian termasuk ke dalam Geologi Lembar Malili (Simadnjuntak dkk,1980)	7
3. Geologi umum dan tektonik Sulawesi (Hamilton 1973 dalam Golightly,1979).....	8
4. Geologi Daerah Soroako (Golightly,1979).....	10
5. Kenampakan Struktur Geologi Danau Matano-Soroako dan Sekitarnya (Golightly,1979)	11
6. Kenampakan Sifat fisik ofiolit menurut Penrose Field Coneference (1972).....	15
7. Skema Pembentukan Endapan Laterit (Totok Darijanto, 1986).....	17
8. Klasifikasi Lereng Menurut Van Zuidam (1985)	19
9. Klasifikasi Kemiringan Lereng (Sumber : Pedoman Penyusunan Pola Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah tahun 1986)	19
10. Penampang skematik endapan laterit secara general terhadap relief topografi (Boldt,1967)	20
11. Klasifikasi sederhana antara bentuk lahab dan proses laterisasi, (Waheed,2006).....	22
12. Hubungan topografi terhadap proses laterisasi (Waheed,2006).....	22
13. Klasifikasi ketinggian absolut (Van Zuidam, 1985).....	23
14. Penampang Laterit Hasil pelapukan yang membagi zona saprolite (Waheed,2002).....	26
15. Skema penampang laterit memperlihatkan <i>soft</i> saprolite dan <i>rocky</i> saprolite (Horn dan Baco, 2002) dalam Martin dkk (2009)	26
16. Generakisasi profil laterit (Eliasm2002).....	27
17. Proses pengeboran menggunakan mesin YBM	32
18. Kenampakan <i>core</i> hasil pengeboran dilapangan	32

19.	<i>Sample core</i> hasil pengeboran dibawa ke <i>sample house</i>	33
20.	<i>Screening Grain Size</i>	34
21.	Proses homogenisasi sampel (<i>quartering</i>).....	34
22.	Kandungan sampel yang telah dihomogenkan dikeringkan menggunakan <i>oven</i> (A), sampel yang telah dikeringkan ditimbang kembali (B)	35
23.	Penimbangan sampel material 800gr dan flux 0,8gr	36
24.	Sampel 800gr dan flux 0,8gr dimasukkan dalam wadah	36
25.	Sampel dimasukkan dalam <i>Oven (Modultemp)</i> selama 10 menit disuhu 1000°C	37
26.	Sampel yang telah melebur dituang ke dalam cetakan <i>bead</i>	37
27.	<i>Bead</i> dimasukkan ke dalam XRF untuk pembacaan unsur	38
28.	Hasil pembacaan XRF	38
29.	Diagram Alir penelitian	40
30.	Kenampakan petrografis batuan dasar yaitu dunit pada daerah penelitian.....	41
31.	Kenampakan morfologi bergelombang pada blok X dengan arah Foto N75°E.....	42
32.	Kenampakan morfologi perbukitan pada blok X dengan arah foto N38°E	42
33.	Peta kemiringan lereng	43
34.	Peta ketebalan limonit daerah penelitian	46
35.	Peta ketebalan saprolit daerah penelitian.....	46
36.	Penampang ketebalan lapisan laterit pada lintasan A-A`	47
37.	Penampang ketebalan lapisan laterit pada lintasan B-B`	47
38.	Penampang ketebalan lapisan laterit pada lintasan C-C`	48
39.	Penampang ketebalan lapisan laterit pada lintasan D-D`	48
40.	Penampang ketebalan lapisan laterit pada lintasan E-E`	49
41.	Penampang ketebalan lapisan laterit pada lintasan F-F`	49
42.	Profil laterit (Limonit dan saprolite) perbandingan unsur Ni dan Co	52
43.	Profil laterit (Limonit dan saprolite) perbandingan unsur Fe, SiO ₂	

dan MgO	53
44. Kenampakan foto <i>core</i> yang memperlihatkan rekahan yang terisi oleh garnierite dan mempunyai kadar Ni yang tinggi pada slope 8-16°	57
45. Kenampakan foot core memperlihatkan rekahan yang terisi oleh silika dan mempunyai kadar Ni yang rendah pada slope 4-8°	58
46. Grafik hubungan topografi terhadap ketebalan limonit.....	59
47. Grafik hubungan topografi terhadap ketebalan saprolit	60
48. Grafik hubungan topografi terhadap kadar Ni.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
1	Tabel data kemiringan lereng daerah penelitian	44
2	Pembobotan pada lapisan limonit dan saprolite	51
3	Tabel pembobotan pada <i>Ore</i>	55
4	Tabel kelas lereng pada daerah penelitian	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Endapan nikel laterit didefinisikan sebagai sisa tanah/residu dari hasil proses pelapukan batuan ultramafik, melalui proses pelindian dan pemerayaan supergen yang dikontrol oleh morfologi, struktur geologi dan fluktuasi muka air tanah pada saat pembentukannya. Pencucian unsur bergerak (*mobile*) dalam batuan ultramafik seperti silika dan magnesium menyebabkan konsentrasi sisa/residu pada unsur tidak bergerak (*immobile*) seperti besi, nikel dan kobalt (Indra Kusuma,R.A.,dkk.2019).

Endapan nikel laterit terbagi menjadi beberapa lapisan yaitu lapisan limonit dicirikan dengan warna merah coklat hingga kuning tua, tekstur agak lunak, kandungan Fe tinggi. Lapisan saprolit dicirikan dengan warna kuning muda sampai kehijauan, masih dapat ditemukan sisa-sisa batuan asal yang mengalami pelapukan biasanya dalam bentuk *boulder-boulder*. Lapisan *bedrock* bagian dasar dari zonasi endapan nikel laterit biasanya akan dijumpai batuan pembawa sebagai *hostrock nickel*.

Kondisi morfologi sangat mempengaruhi sirkulasi air beserta unsur lainnya. Daerah yang landai, air akan bergerak perlahan-lahan sehingga akan mempunyai kesempatan untuk masuk lebih dalam melalui rekahan-rekahan atau pori-pori batuan. Pada daerah terjal, air akan mengalir di permukaan dan terjadi erosi yang intensif. Akumulasi endapan umumnya terdapat pada daerah yang landai sampai kemiringan sedang. Ketebalan endapan nikel laterit bervariasi yang dipengaruhi oleh morfologi pada setiap daerah (Indra Kusuma,R.A.,dkk.2019). Endapan nikel laterit dapat terbentuk di daerah yang memiliki relief sedang yang dikendalikan oleh struktur dan kepadatan rekahan. Pada daerah dengan kemiringan topografi yang bervariasi akan membentuk endapan nikel laterit dengan ketebalan yang berbeda (Thorne,,R.,dkk. 2012).

Derajat kemiringan lereng dari suatu morfologi memiliki peran kontrol dalam pembentukan pelapukan suatu batuan. Umumnya jenis morfologi untuk endapan nikel laterit yang potensial, diantaranya *plateau*, teras, perbukitan, perbukitan bergelombang lemah dan perbukitan bergelombang miring. Pada topografi yang curam (umumnya slope lebih dari 25%), menyebabkan pelapukannya menjadi tidak intensif dimana jumlah air yang mengalir (*run off*) akan lebih banyak daripada air yang meresap (Kadariusman, A., dkk. 2016).

Berdasarkan atas berbagai pertimbangan yang telah dikemukakan diatas, maka hal tersebutlah yang melatar belakangi penulis melakukan penelitian dalam penyelesaian tugas akhir dengan judul “**Analisis Topografi Terhadap Ketebalan Dan Kadar Ni Blok X Pt. Vale Indonesia Tbk Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan**”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas dapat dirumuskan masalah dalam penelitian “Analisis Topografi Terhadap Ketebalan Dan Kadar Ni Blok X Pt. Vale Indonesia Tbk Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan” adalah sebagai berikut :

1. Ketebalan limonit dan saprolit berdasarkan data topografi pada daerah penelitian.
2. Distribusi Ni berdasarkan data *assay* dan topografi pada daerah penelitian.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun maksud dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh topografi terhadap ketebalan dan kadar ni *block X Pt. Vale Indonesia Tbk*, sedangkan tujuan dari penelitian ini yaitu :

Tujuan secara khusus, sebagai berikut:

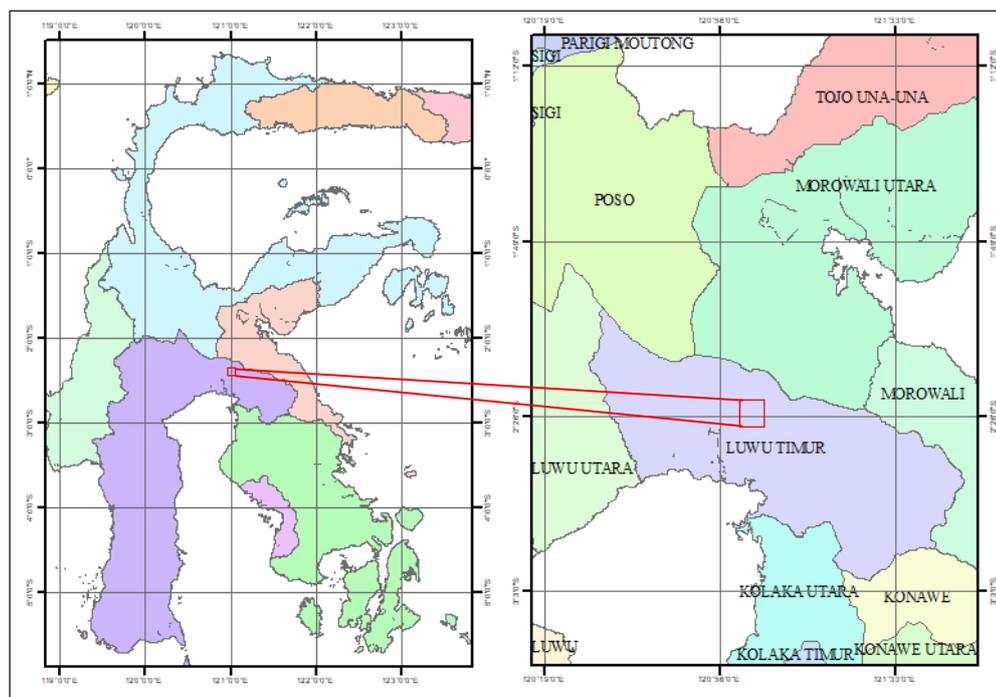
1. Mengetahui ketebalan dan nilai kadar Ni pada lapisan limonit dan saprolit
2. Mengetahui pengaruh topografi terhadap ketebalan lapisan dan kadar Ni

1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan uraian diatas dapat dirumuskan masalah dalam penelitian berfokus pada pengaruh topografi terhadap kadar Ni melalui analisa sampel pemboran (*core*) berdasarkan hasil data *assay* pada daerah PT.Vale Indonesia, Tbk Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan menggunakan metode IDW (Inverse Distance Weighted). Dengan mengkorelasikan bentuk topografi pada tiap titik bor dengan ketebalan dan kadar nikel.

1.5 Lokasi, Luas, Dan Kesampaian Daerah Penelitian

Waktu Penelitian dilaksanakan selama 2 bulan terhitung mulai tanggal 18 Juli 2022 sampai dengan tanggal 17 September 2022. Secara administratif daerah penelitian termasuk dalam Wilayah PT. Vale Indonesia, Tbk Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan. Daerah penelitian dapat dicapai dengan menggunakan transportasi darat dari Makassar menuju daerah penelitian pada Desa Sorowako Kecamatan Nuha Kabupaten Luwu Timur yang ditempuh sekitar 12 jam dengan jarak sekitar ± 650 km.



Gambar 1 Peta Tunjuk Lokasi

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini secara umum sebagai referensi yang berkaitan dengan proses analisa topografi terhadap ketebalan dan kadar Ni Pada Lapisan limonit dan saprolit yang di jumpai pada daerah penelitian serta mengaplikasikan teori-teori yang dijumpai selama perkuliahan dengan dunia kerja.

1.7 Peneliti Terdahulu

Beberapa ahli geologi yang pernah melakukan penelitian di daerah ini yang sifatnya regional diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Rab Sukamto (1975), penelitian perkembangan tektonik sulawesi dan sekitarnya yang merupakan sintesis yang berdasarkan tektonik lempeng.
2. Simanjuntak (1980), penelitian tentang kondisi geologi regional khususnya pada lembar Bungku, Sulawesi.
3. Sarasin (1901), penelitian tentang geografi dan geologi pada pulau Sulawesi
4. Hasan Ngabito (1990), penelitian tentang pulau Sulawesi dan sekitarnya yang membagi menjadi 3 mandala geologi
5. Waheed Ahmad (2006 dan 2008), penelitiannya *mine geology* dan *geology eksplorasi* yang dimana kedua penelitian tersebut merupakan cikal bakal dalam pembangunan pabrik, kegiatan eksplorasi dan mining dari PT. Vale Indonesia, Tbk.
6. Armstrong (2012), penelitian tentang kondisi struktur geologi pada pulau Sulawesi

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Secara umum, daerah penelitian terletak pada Lembar daerah Malili, adapun geologi regional pada daerah tersebut yaitu :

2.1.1 Geomorfologi

Menurut TO. Simandjuntak, E. Rusmana, Surono dan (and) J. B Supandjono. Secara morfologi daerah ini dapat dibagi atas 4 satuan : Daerah Pegunungan, Daerah Pebukitan, Daerah Kras dan Daerah Pedataran. Daerah Pegunungan menempati bagian barat dan tenggara lembar peta. Di bagian barat terdapat 2 rangkaian pegunungan: Pegunungan Tineba dan Pegunungan Koro-Ue yang memanjang dan baratlaut - tenggara, dengan ketinggian antara 700-3016 m di atas permukaan laut dan dibentuk oleh batuan granit dan malihan. Sedangkan di bagian tenggara lembar peta terdapat Pegunungan Verbeek dengan ketinggian antara 800 - 1346 m di atas permukaan laut, dibentuk oleh batuan ultramafik dan batugamping. Sungai-sungai yang mengalir di daerah ini yaitu S. Kataena, S. Pincara, S. Rongkong. S. Larona dan S. Malili merupakan sungai utama. Pola aliran sungai umumnya dendrit.

2.1.2 Stratigrafi

Berdasarkan himpunan batuan, struktur dan biostratigrafi, secara regional Lembar Malili termasuk Mendala Geologi Sulawesi Timur dan Mandala Geologi Sulawesi Barat, dengan batas sesar Palu koro yang membujur hampir utaraselatan. Mendala Geologi Sulawesi Timur dapat dibagi menjadi dua lajur (Telt): lajur batuan malihan dan lajur ofiolit Sulawesi Timur yang terdiri dari batuan ultramafik dan batuan sedimen petagos Mesozoikum. Di Mendala Geologi Sulawesi Timur, batuan tertua adalah batuan ofiolit yang terdiri dari ultramafik termasuk harzburgit, dunit, piroksenit, wehrlit dan serpentin, setempat batuan mafik termasuk gabro

dan basal. Umurnya belum dapat dipastikan, tetapi diperkirakan sama dengan ofiolit di lengan timur Sulawesi yang berumur Kapur – Awal Tersier (Simandjuntak, 1980).

Lajur ofiolit Sulawesi Timur

MTosu **Batuan Ultramafik**: harzburgit, lherzolit, wehrlit, websterit, serpentinit dan dunit.

Harzburgit, hijau sampai kehitaman; holokristalin, padu dan pejal. Mineralnya halus sampai kasar, terdiri atas olivin (60%) dan piroksen (40%). Di beberapa tempat menunjukkan struktur perdaunan. Hasil penghabluran ulang pada mineral piroksen dan olivine mencirikan batas masing-masing kristal bergerigi.

Lherzolit, hijau kehitaman; hotokristalin, padu dan pejal. Mineral penyusunnya ialah olivin (45%), piroksen (25%), dan sisanya epidot, yakut, klorit dan bijih dengan mineral berukuran halus sampai kasar.

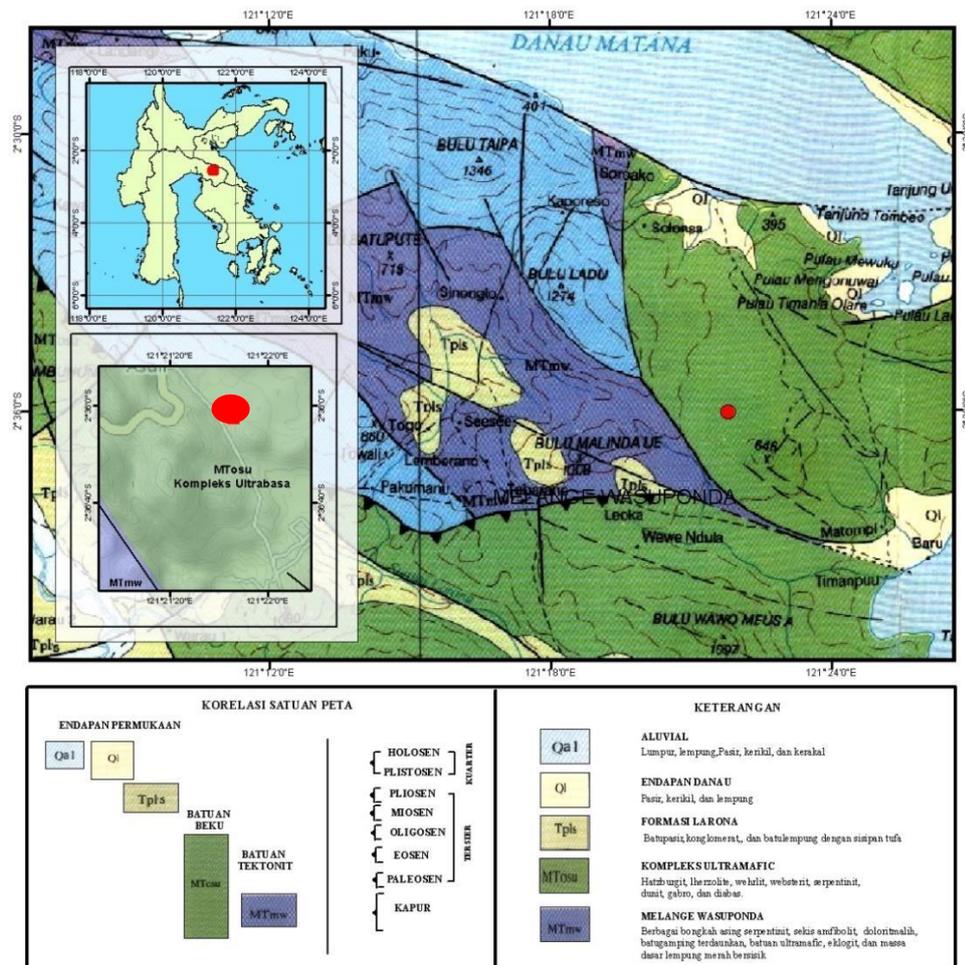
Wehrlit, bersifat padu dan pejal; kehitaman; bertekstur afanitik. Batuan ini tersusun oleh mineral olivin, serpentin, piroksen dan iddingsit. Serpentin dan iddingsit berupa mineral hasil ubahan olivin.

Websterit, hijau kehitaman; holokristalin, padu dan pejal. Batuan ini terutama tersusun oleh mineral olivin dan piroksen kilno berukuran halus sampai sedang. Juga ditemukan mineral serpentin, klorit, serisit dan mineral kedap cahaya. Batuan ini telah mengalami penggerusan, hingga di beberapa tempat terdapat pemilonitan dalam ukuran sangat halus yang memperlihatkan struktur kataklas.

Serpentinit, kelabu tua sampai kehitaman; padu dan pejal. Batuannya bertekstur afanitik dengan susunan mineral antigorit, lempung dan magnetit. Umumnya memperlihatkan struktur kekar dan cermin sesar yang berukuran megaskopis.

Dunit, kehitaman; padu dan pejal, bertekstur afanitik. Mineral penyusunnya ialah olivin, piroksen, plagioklas, sedikit serpentin dan magnetit; berbutir halus sampai sedang. Mineral utama Olivin berjumlah sekitar 90%: Tampak adanya penyimpangan dan pelengkungan kembaran yang dijumpai pada piroksen. Mencirikan adanya gejala deformasi yang dialami oleh batuan ini. Di beberapa

tempat dunit terserpentinkan kuat yang ditunjukkan dari struktur sisa seperti jaring dan barik-barik mineral olivine dan piroksen; serpentin dan talcum sebagai mineral pengganti.



Gambar 2 Peta geologi Regional daerah Penelitian termasuk kedalam Geologi regional lembar Malili (Simandjuntak dkk, 1980)

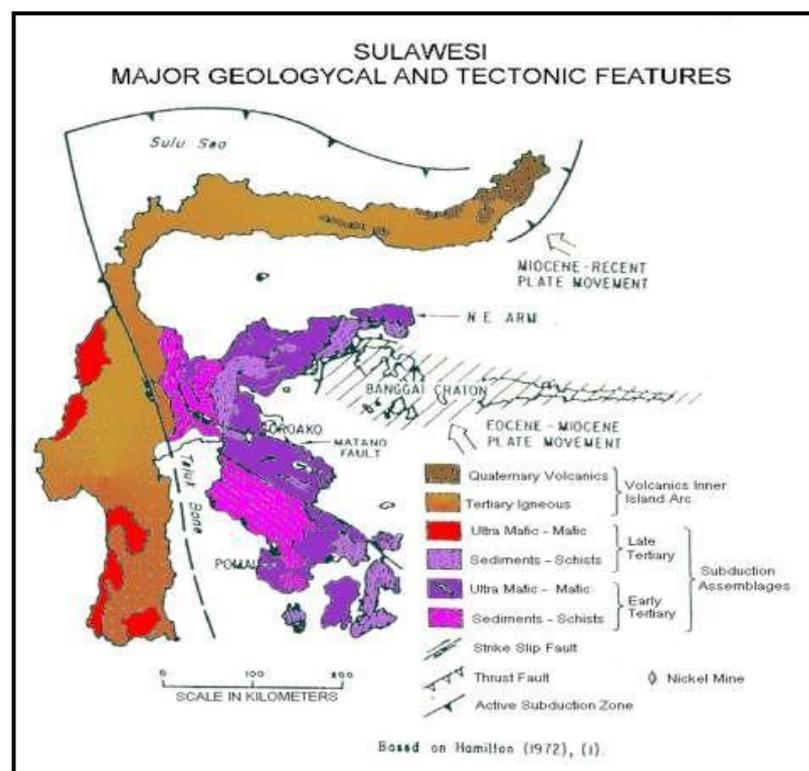
2.1.3 Struktur Geologi

Ada beberapa penelitian yang menjelaskan mengenai proses tektonik dan geologi daerah Sorowako, antara lain adalah Sukamto (1975) yang membagi pulau Sulawesi dan sekitarnya terdiri dari 3 Mandala Geologi yaitu:

1. Mandala Geologi Sulawesi Barat, dicirikan oleh adanya jalur gunung api Paleogen.

2. Intrusi Neogen dan sedimen Mesozoikum. Mandala Geologi Sulawesi Timur, dicirikan oleh batuan Ofiolit yang berupa batuan ultramafik peridotite, harzburgit, dunit, piroksenit dan serpentinite yang diperkirakan berumur kapur.
3. Mandala Geologi Banggai Sula, dicirikan oleh batuan dasar berupa batuan metamorf Permo-Karbon, batuan batuan plutonik yang bersifat granitis berumur Trias dan batuan sedimen Mesozoikum.

Daerah Sorowako dan sekitarnya menurut (Sukamto, 1975, 1982 & Simanjuntak, 1986) adalah termasuk dalam Mandala Indonesia bagian Timur yang dicirikan dengan batuan ofiolit dan Malihan yang di beberapa tempat tertindih oleh sedimen Mesozoikum.



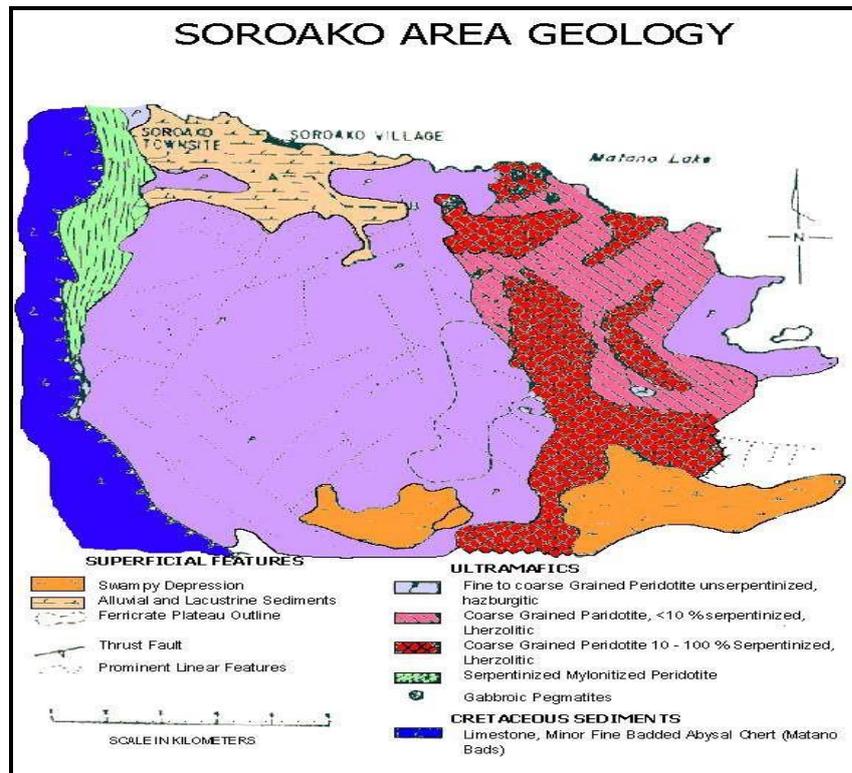
Gambar 3 Geologi Umum dan Tektonik Sulawesi (Hamilton 1973 dalam Golightly 1979)

Menurut Hamilton (1973), Mandala Geologi Banggai Sula merupakan mikro kontinen yang merupakan pecahan dari lempung New Guine yang bergerak ke arah barat sepanjang sesar sorong (Gambar 3)

Melange yang berumur *Miocene - Post Miocene* menempati *central* dan lengan *North-East* Sulawesi. *Uplift* terjadi sangat intensif di daerah ini, diduga karena desakan kerak samudera Banggai Craton. Kerak benua dengan *density* yang rendah menyebabkan tereksposnya batuan-batuan laut dalam dari kerak samudera dan mantel. Pada bagian Selatan dari zona melange ini terdapat kompleks batuan ultramafik Sorowako-Bahodopi yang pengangkatannya tidak terlalu intensif. Kompleks ini menempati luas sekitar 11,000 km persegi dengan stadia geomorfik menengah, diselingi oleh blok-blok sesar dari *cretaceous abyssal limestone* dan diselingi oleh *chert*.

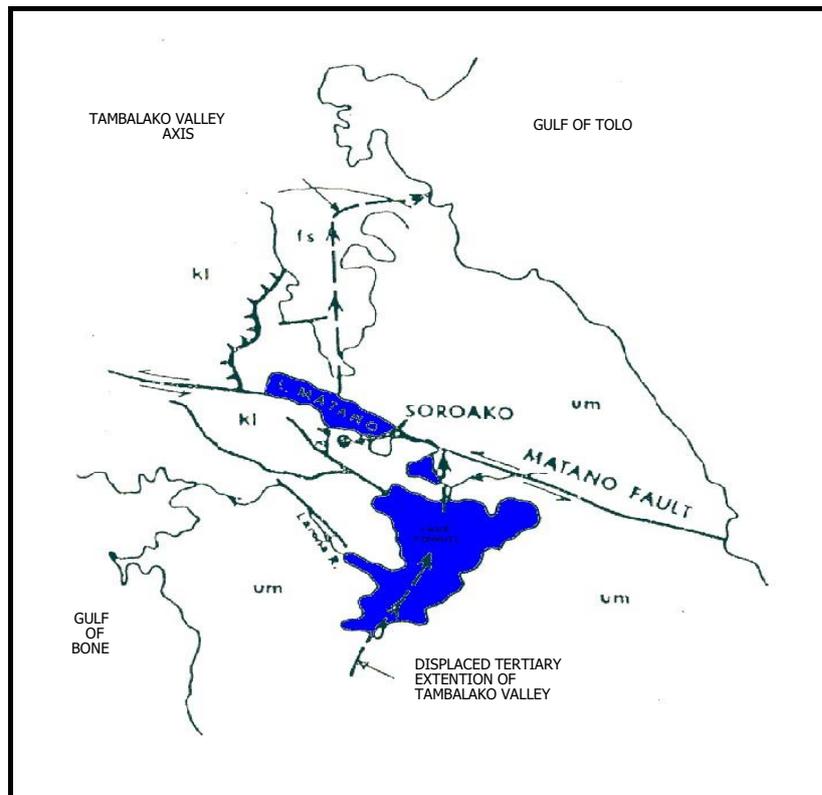
(Menurut Golightly 1979 dalam Kumarawarman 2016) Geologi Daerah Sorowako dibagi menjadi 3 bagian yaitu Satuan Batuan Sedimen yang berumur Kapur yang terdiri dari Batugamping laut dalam dan rijang. Pada bagian Barat wilayah Sorowako dibatasi oleh sesar naik dengan kemiringan ke arah Barat. Satuan Batuan Ultrabasa yang berumur awal Tersier, umumnya terdiri dari jenis peridotit, yang sebagian mengalami serpentinisasi dengan derajat yang bervariasi dan umumnya terdapat dibagian Timur. Pada Daerah penelitian terdapat sesar besar yang menyebabkan relief topografi sampai 600 mdpl dan sampai sekarang masih aktif tererosi. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya proses lateritisasi yang bersifat ekonomis.

Golightly (1979) juga mengemukakan bagian Timur Sulawesi tersusun dari 3 zona *mélange* subduksi yang terangkat pada *pre - dan post Miocene*. *Mélange* yang paling tua tersusun dari sekis yang berorientasi ke arah Tenggara disertai beberapa tubuh batuan ultrabasa yang penyebarannya sempit dengan stadi geomorfik tua. Sementara yang berumur *post Miocene* telah mengalami pelapukan yang cukup luas sehingga cukup untuk membentuk endapan nikel laterit yang ekonomis, seperti yang ada di daerah Pomala.



Gambar 4 Geologi Daerah Soroako (Golightly 1979)

Sesar besar disekitar daerah menyebabkan relief topografi sampai 600 mdpl dan sampai sekarang aktif tererosi. Sejarah tektonik dan gemorfik di kompleks ini sangat penting untuk pembentukan nikel laterit yang bernilai ekonomis. Matano *fault* yang membuat topografi *liniament* yang cukup kuat adalah sesar aktif dan menggeser Matano *limestone* dan batuan lainnya sejauh 18 km kearah barat pada sisi Utara. Danau Matano yang mempunyai kedalam sekitar 600 m diperkirakan adalah graben yang terbentuk akibat efek zona dilatasi dari sesar tersebut. Danau Towuti pada sisi Selatan dari sesar diperkirakan merupakan pergeseran dari Tambalako akibat pergerakan sesar Matano. Pergerakan sesar ini memblok aliran air ke arah Utara sepanjang lembah dan membentuk Danau Towuti dan aliran airnya beralih ke barat menuju sungai Larona. Danau – danau yang terbentuk akibat dari “*damming effect*” dari sesar ini merupakan bendungan alami yang menahan laju erosi dan membantu mempertahankan deposit nikel laterit yang terbentuk di daerah Sorowako (Gambar 5).



Gambar 5 Struktur Geologi Danau Matano – Soroako dan sekitarnya (Golightly 1979)

2.2 Kompleks Ultramafik

2.2.1 Ultramafik

Menurut Waheed Ahmad (2002), Batuan Ultramafik merupakan batuan yang terdiri dari mineral-mineral yang bersifat mafik (*ferromagnesian*), seperti : olivin, piroksin, *hornblend* dan mika. Semua batuan ultramafik memiliki indeks warna >70%.

Perlu diperhatikan bahwa istilah “ultrabasa” dan “ultramafik” tidak identik. Sebagian besar batuan ultramafik juga ultrabasa, sementara tidak semua batuan ultrabasa yang ultramafik. Dengan demikian batuan yang kaya akan *feldspathoid* merupakan ultrabasa namun bukan batuan ultramafik, karena tidak mengandung mineral *ferromagnesian* (Waheed Ahmad,2002).

Berikut adalah jenis – jenis dari batuan ultramafik, antara lain:

a) Peridotit

Peridotit biasanya membentuk suatu kelompok batuan ultramafik yang disebut ofiolit, umumnya membentuk tekstur kumulus yang terdiri dari atas harsburgit, lertzolit, werlite dan dunit. Peridotit tersusun atas mineral – mineral holokristalin dengan ukuran medium – kasar dan berbentuk anhedral. Komposisinya terdiri dari olivin dan piroksin. Mineral asesorisnya berupa plagioklas, *hornblende*, biotit dan garnet.

b) Piroksinit

Menurut Waheed Ahmad (2002), piroksinit merupakan kelompok batuan ultramafik monomineral dengan kandungan mineral yang hampir sepenuhnya adalah piroksin. Dalam hal ini Piroksinit diklasifikasikan lebih lanjut apakah masuk kedalam Piroksin ortorombik atau monoklin.

- *Orthopyroxenites: Bronzites*
- *Clinopyroxenites: Diopsidites; diallagites*

c) *Hornblendit*

Hornblendit merupakan batuan ultramafik monomineral dengan komposisi mineral sepenuhnya *hornblende*.

d) Dunit

Merupakan batuan yang hampir murni olivin (90-100%), umumnya hadir sebagai forsterit atau kristolit, terdapat sebagai *sill* atau korok-korok halus (dalam dimensi kecil). Sedangkan Waheed Ahmad (2002), menyatakan bahwa dunit memiliki komposisi mineral hampir seluruhnya adalah monomineralik olivin (umumnya *magnesia olivin*), mineral asesorisnya meliputi : kromit, magnetit, ilmenit dan spinel. Pembentukan dunit berlangsung pada kondisi padat atau hampir padat (pada temperatur yang tinggi) dalam larutan magma dan sebelum mendingin pada temperature tersebut, batuan tersebut siap bersatu membentuk massa *olivine anhedral* yang saling mengikat.

Terbentuk batuan yang terdiri dari olivine murni (dunit) misalnya, membuktikan bahwa larutan magma (*liquid*) berkomposisi olivin memisah dari larutan yang lain.

e) Serpentin

Serpentin merupakan batuan hasil alterasi hidrotermal dari batuan ultramafik, dimana mineral-mineral olivin dan piroksin jika alterasi akan membentuk mineral serpentin. Serpentin umumnya memiliki komposisi batuan berupa monomineralik serpentin, batuan tersebut dapat terbentuk dari serpentinisasi dunit, peridotit (Waheed Ahmad, 2002). Serpentin tersusun oleh mineral grup serpentin >50%, kerak serpentin dapat dihasilkan dari mantel oleh hidrasi dari mantel ultramafik (mantel peridotit dan dunit). Dibawah pegunungan tengah samudera (*mid Oceanic Ridge*) pada temperatur <500°C. serpentin kemudian terbawa keluar melalui migrasi litosfer.

Menurut Waheed Ahmad (2002) Bidang terjadinya batuan ultramafik dapat disederhanakan pada dasarnya tiga jenis:

- 1) Batuan ultramafik berkaitan dengan intrusi lapisan. Hal ini terbukti di beberapa lokasi ultramafik diperoleh melalui gravitasi tetap mineral-mineral mafik berat selama proses kristalisasi dari magma dasar (Intrusi *Skaergaard*, *Bushveld* Kompleks, dan *Great Dike* di Afrika). berdasarkan hal tersebut ultramafik akan selalu menjadi batuan diatas mafik.
- 2) Bagian-bagian kecil seluruhnya merupakan batuan ultramafik (melensa, lembar, tanggul, persediaan). Kadang-kadang, sebuah pengisian ke dapur magma memperlihatkan dengan jelas bahwa ultramafik kemungkinan telah diterobos sebagai kristal padat massa.
- 3) Terbentuknya ultramafik yang sangat besar jelas terkait dengan *ophiolites*, subduksi *melange*, busur pulau terluar dan sabuk orogenik (Ural daerah, Himalaya, Selandia Baru, Kaledonia Baru, Sulawesi, Filipina, Kuba, Republik Dominika, dan lainnya).

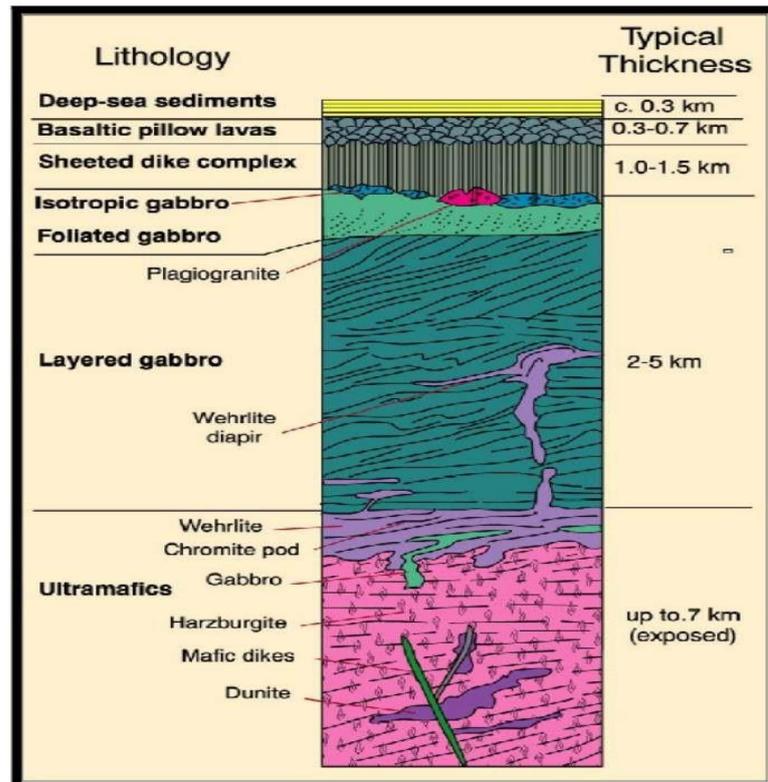
2.2.2 Ofiolit

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

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

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

Secara ideal penampang ofiolit ditunjukkan dalam gambar 6 yang memperlihatkan susunan litologi penyusun ofiolit.



Gambar 6 Sifat fisik ofiolit menurut Penrose Field Conference (1972)

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

2.2.3 Endapan Nikel Laterit

Laterite deposit atau endapan laterit diartikan sebagai hasil dari proses pelapukan yang intensif di daerah *humid, warm* maupun tropis dan kaya akan mineral lempung yang bersifat *kaolinitic* serta Fe- dan Al- *oxide/hydroxide*. Endapan laterit pada umumnya menampilkan bidang perlapisan yang baik sebagai hasil reaksi antara air hujan yang masuk ke dalam formasi dan kelembaban tanah yang naik ke atas permukaan (Maulana, 2013).

Laterit menurut Evans (1993) adalah produk sisa dari pelapukan kimia batuan di permukaan bumi, dimana berbagai mineral asli atau primer mengalami

ketidakstabilan karena adanya air kemudian larut atau pecah dan membentuk mineral baru yang lebih stabil. Laterit penting sebagai induk untuk endapan bijih ekonomis. Contoh terkenal dari endapan bijih laterit yaitu bauksit dan endapan bijih besi.

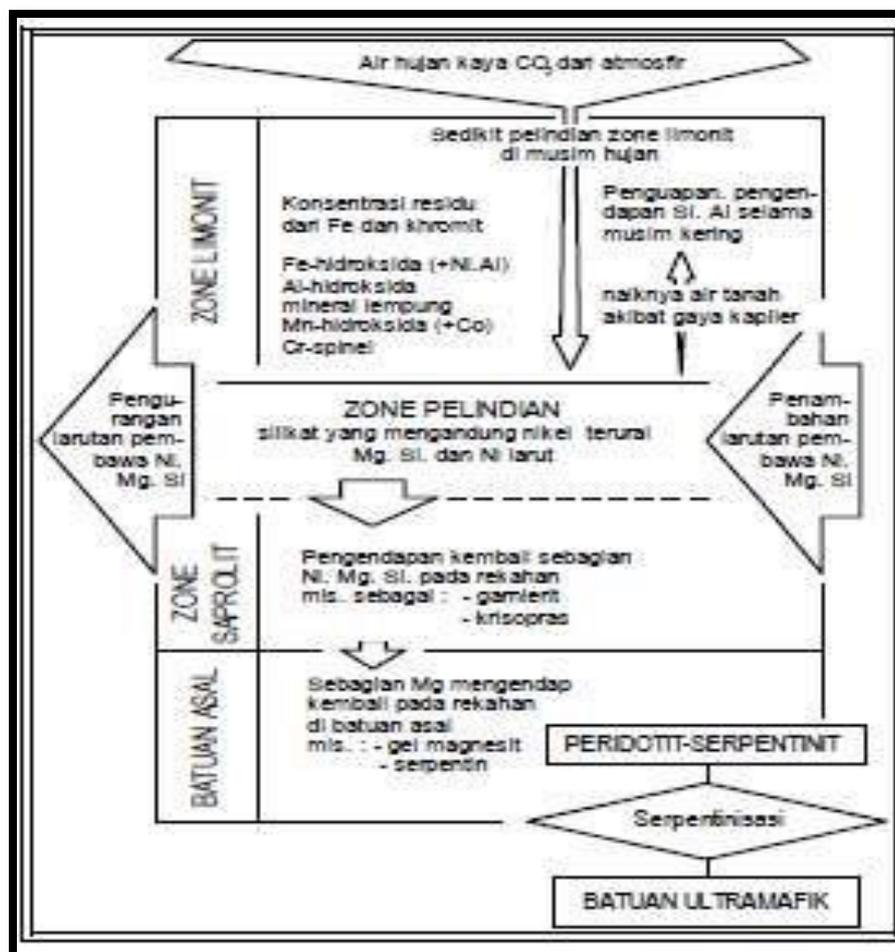
Laterit merupakan sumber dari beberapa mineral ekonomis diantaranya bauxite dan nikel (Ni), mangan (Mn), tembaga (Cu), emas (Au) dan *platinum group element* (PGE). Bagian paling bawah dari profil laterit disebut dengan zona saprolite yang merupakan zona pelapukan tinggi dimana tekstur primer dan fabrik dari batuan asalnya masih dapat dilihat. Akibat fluida yang bersifat *oxidized* dan asam, maka bagian paling bawah dari zona ini dicirikan dengan tidak stabilnya *sulfide* dan karbonat dengan hasil pencucian atau *leaching* dari logam-logam *chalcophile* dan unsur-unsur alkalin. Bagian bawah dari zona saprolit ini dicirikan dengan terurainya mineral-mineral *feldspar* dan *ferromagnesian*, sementara Si dan Al akan tetap tinggal pada mineral lempung (*kaolinite dan halloysite*) (Maulana, 2017).

2.2.4 Genesa Endapan Nikel Laterit

Proses terbentuknya nikel dimulai dari adanya pelapukan yang intensif pada batuan induk. Batuan induk ini akan berubah menjadi serpentin akibat larutan residual pada waktu proses pembekuan magma (proses serpentinisasi) dan akan merubah batuan peridotit (batuan induk) menjadi batuan serpentin. Menurut Golightly (1981) sebagian besar unsur Ca, Mg dan Si akan mengalami dekomposisi dan beberapa terkayakan secara supergen (Ni, Mn, Co, Zn) atau terkayakan secara relatif (Fe, Cr, Al, Ti, S dan Cu).

Air resapan yang mengandung CO₂ (dari udara) meresap ke bawah sampai ke permukaan air tanah melindi mineral-mineral primer yang tidak stabil (olivin, piroksin dan serpentin). air meresap secara perlahan sampai mencapai batas limonit zone dan saprolit zone, kemudian mengalir secara lateral. Proses ini menghasilkan Ca dan Mg yang larut disusul dengan Si yang cenderung membentuk koloid dari partikel silika yang sangat halus, sehingga memungkinkan terbentuknya mineral baru melalui pengendapan kembali unsur-unsur tersebut. Semua hasil pelarutan

akan turun ke bagian bawah mengisi celah-celah dan pori-pori batuan. Muka air tanah yang berlangsung secara kontinu akan melarutkan unsur-unsur Mg dan Si yang terdapat pada bongkah-bongkah batuan asal di zona saprolit, sehingga memungkinkan penetrasi air tanah yang lebih dalam. zona saprolit dalam hal ini akan semakin bertambah ikatan-ikatan yang mengandung oksida sehingga bongkah-bongkah yang ada dalam zona ini akan terlindi dan ikut bersama-sama dengan aliran air tanah dan sedikit demi sedikit zona saprolit atas akan berubah sifat porositasnya dan akan menjadi zona limonit (gambar 7).



Gambar 7 Skema Pembentukan Endapan Nikel Laterit (Totok Darijanto, 1986)

Untuk unsur-unsur yang sukar atau tidak mudah larut akan tinggal pada tempatnya dan sisanya akan turun ke bawah bersama larutan sebagai larutan koloid. Bahan-bahan seperti Fe, Ni dan Co akan membentuk konsentrasi residu

dan konsentrasi celah pada zona yang disebut zona saprolit, berwarna coklat kuning kemerahan. Batuan asal ultramafik pada zona ini selanjutnya diimpregnasi oleh Ni melalui larutan yang mengandung Ni sehingga kadar Ni dapat Naik. Dalam hal ini Ni dapat mensubstitusi Mg dalam serpentin atau juga mengendap dalam rekahan bersama dengan larutan yang mengandung Mg dan Si sebagai garnierit dan krisopras (Totok Darijanto,1986).

2.2.5 Faktor – faktor yang Mempengaruhi Perkembangan Profil Laterit

Proses-proses dan kondisi yang mengatur dan mengendalikan laterisasi dari batuan ultramafik begitu banyak dan beragam, akibatnya kondisi alamiah dari tiap profil berbeda secara detail dari satu tempat ke tempat lainnya dalam hal ketebalan, kimiawi, komposisi mineralogi dan perkembangan relatif dari zona profil secara individu. Faktor – faktor utama yang mempengaruhi efisiensi dan kinerja dari pelapukan kimia, berdampak pada model alamiah profil, antara lain iklim, topografi, drainase, tektonik, tipe batuan induk, struktur, stabilitas mineral (struktur kristal, titik lebur), reaksi potensial (Reduksi / Oksidasi), ukuran butir dan bukaan batuan (Porositas), kondisi PH, tingkat pemindahan suatu unsur ke arah vertical, klimaks (temperatur, curah hujan, naik-turunnya muka air tanah), peran permukaan air di bawah tanah, dan waktu . Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat sebaran secara horisontal endapan lateritik (Boldt, 1967), yaitu :

- a) **Adanya proses pelapukan** yang relatif merata walaupun berbeda tingkat intensitasnya, sehingga endapan lateritik terbentuk dan tersebar secara merata. 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).
- b) **Topografi/morfologi** yang tidak curam tingkat kelerengannya, sehingga endapan laterit masih mampu untuk ditopang oleh permukaan topografi sehingga tidak terangkut semua oleh proses erosi ataupun ketidakstabilan lereng.

Kelas Lereng	Sifat-sifat proses dan kondisi alamiah	Warna
0 – 2 ^o (0-2 %)	Datar hingga hampir datar; tidak ada proses denudasi yang berarti	Hijau
2 – 4 ^o (2-7 %)	Agak miring; Gerakan tanah kecepatan rendah, erosi lembar dan erosi alur (sheet and rill erosion). rawan erosi	Hijau Muda
4 – 8 ^o (7 – 15 %)	Miring;sama dengan di atas, tetapi dengan besaran yang lebih tinggi. Sangat rawan erosi tanah.	Kuning
8 – 16 ^o (15 -30 %)	Agak curam; Banyak terjadi gerakan tanah, dan erosi, terutama longsor yang bersifat nendatan.	Jingga
16 – 35 ^o (30 – 70 %)	Curam;Proses denudasional intensif, erosi dan gerakan tanah sering terjadi.	Merah Muda
35 – 55 ^o (70 – 140 %)	Sangat curam; Batuan umumnya mulai tersingkap, proses denudasional sangat intensif, sudah mulai menghasilkan endapan rombakan (koluvial)	Merah
>55 ^o (>140 %)	Curam sekali, batuan tersingkap; proses denudasional sangat kuat, rawan jatuhnya batu, tanaman jarang tumbuh (terbatas).	Ungu

Gambar 8 Klasifikasi Lereng Menurut Van Zuidam (1985)

Kelas	Kemiringan (%)	Keterangan
I	<8	Datar
II	<8 - 15	Landai
III	16-25	Agak curam
IV	26-40	Curam
V	>40	Sangat curam

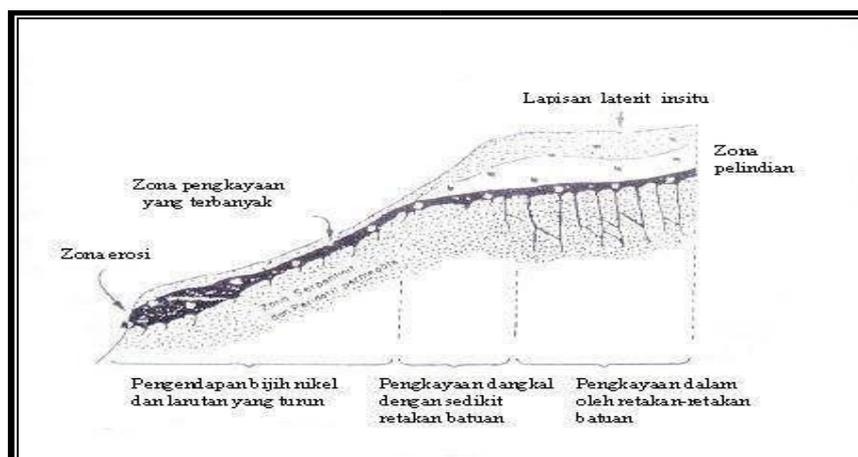
Gambar 9 Klasifikasi Kemiringan Lereng (Sumber : Pedoman Penyusunan Pola Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah tahun1986)

Daerah yang memiliki slope yang kurang dari 20 derajat memungkinkan untuk menahan laterit dan erosi. Pada proses pengayaan nikel, air yang membawa nikel terlarut akan sangat berperan dan 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. Sedangkan pada daerah dengan lereng sedang / 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 tererosi.

- c) **Adanya tumbuhan penutup** yang berfungsi untuk mengurangi tingkat intensitas erosi endapan lateritik, sehingga endapan laterit tersebut relatif tidak terganggu.

Faktor-faktor tersebut saling terkait secara kompleks. Ketika batuan terekspose ke permukaan, secara gradual akan mengalami dekomposisi. Proses kimia dan mekanik yang disebabkan oleh udara, air, panas dan dingin akan menghancurkan batuan tersebut menjadi soil dan *clay*. Berikut ditunjukkan dalam penampang skematik endapan nikel laterit (gambar 10).

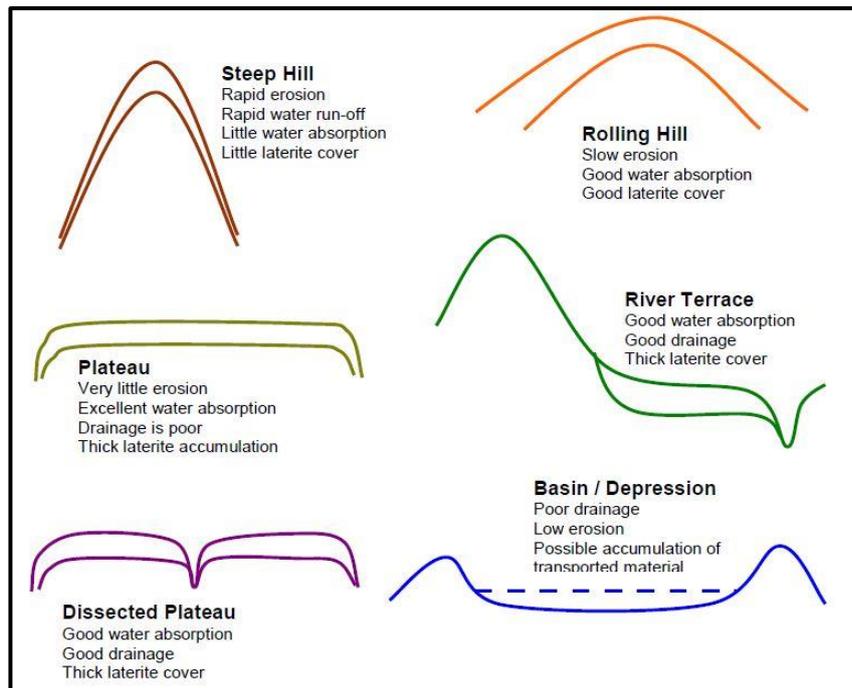


Gambar 10 Penampang Skematik Endapan Nikel Laterit Secara General Terhadap Relief Topografi (Boldt, 1967)

Salah satu faktor yang berperan dalam proses laterisasi adalah morfologi dan topografi, bentuk morfologi suatu daerah sangat dipengaruhi oleh bentuk morfologi bawah permukaan khususnya morfologi batuan dasarnya. Umumnya, bijih (*ore*) terdapat pada zona saprolite dan sebagian kecil pada zona limonit. Hal ini tergantung dari kadar yang terkandung pada zona tersebut. Dimana dalam laterit ini nantinya dapat menentukan seberapa tebal bijih (*ore*) yang terdapat dalam laterit tersebut.

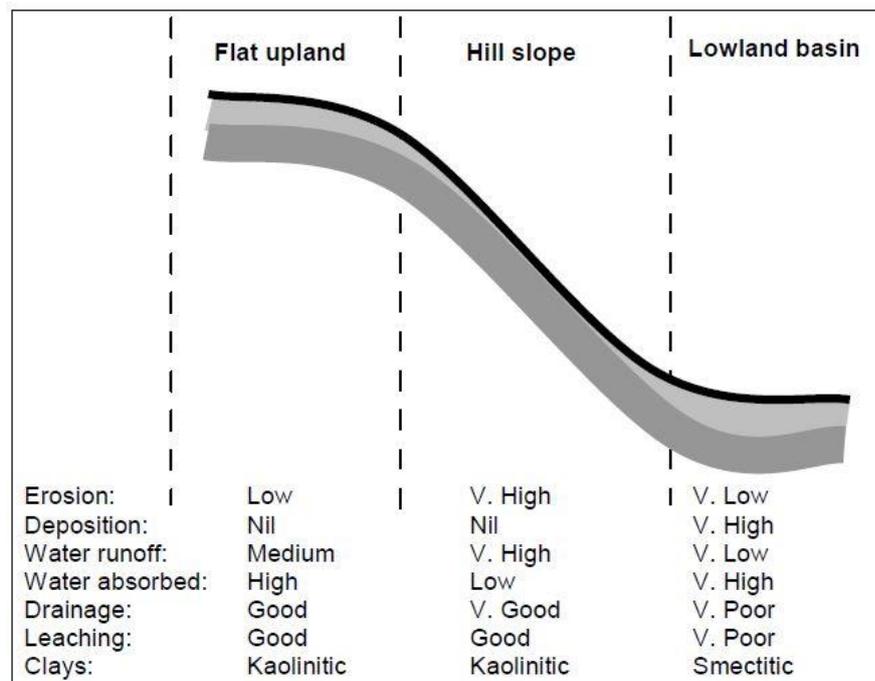
Menurut Ahmad (2006) dalam buku *LATERITES (Fundamentals of chemistry, mineralogy, weathering processes and laterite formation)* mengemukakan bahwa peranan topografi sangat besar terhadap proses laterisasi, melalui beberapa factor antara lain :

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 tinggi memiliki drainase yang lebih baik daripada 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 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/landau 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 tererosi. Hal ini dapat terjadi selama proses lateritisasi atau setelah terbentuknya zona diatas batuan dasar (*bedrock*).



Gambar 11 Klasifikasi sederhana antara bentuk lahan dan proses lateritisasi Waheed, 2006)

Menurut Waheed, 2006 ada beberapa parameter yang digunakan untuk membandingkan proses-proses yang terjadi ada lereng yang berbeda, yaitu :



Gambar 12 Hubungan topografi terhadap proses lateritisasi (Waheed, 2006)

Ketinggian Absolut (Meter)	Unsur Morfografi
< 50	Dataran Rendah
50 – 100	Dataran rendah pedalamana
100 – 200	Perbukitan rendah
200 – 500	Perbukitan
500 – 1500	Perbukitan tinggi
1500 – 3000	Pegunungan
> 3000	Pegunungan Tinggi

Gambar 13 Klasifikasi ketinggian absolut (Van Zuidam,1985)

2.2.6 Penyebaran dan Penampang Endapan Nikel Laterit

Secara horisontal penyebaran Ni tergantung dari arah aliran air tanah yang sangat dipengaruhi oleh bentuk kemiringan lereng (topografi). Air tanah bergerak dari daerah – daerah yang mempunyai tingkat ketinggian ke arah lereng, yang mana sebagian besar dari air tanah pembawa Ni, Mg dan Si yang mengalir ke zona pelindian atau zona tempat fluktuasi air tanah berlangsung. Pada tempat-tempat yang banyak mengandung rekahan-rekahan Ni akan terjebak dan terakumulasi di tempat-tempat yang dalam sesuai dengan rekahan-rekahan yang ada, sedangkan pada lereng dengan kemiringan landai sampai sedang adalah merupakan tempat pengkayaan nikel.

Air tanah berfungsi sebagai larutan pembawa Ni pada saat berlangsungnya proses pelindian. Pada dasarnya proses pelindian ini dapat dikelompokkan menjadi proses pelindian utama yang berlangsung secara vertikal yang meliputi proses pelindian celah di zona saprolit serta proses pelindian yang terjadi di waktu musim penghujan di zona limonit (Golightly, 1979).

Profil (penampang) laterit dapat dibagi menjadi beberapa zona. Profil nikel laterit tersebut dideskripsikan dan diterangkan oleh daya larut mineral dan kondisi aliran air tanah. Menurut Golightly, 1979. Profil laterit dibagi menjadi 4 zona yaitu tudung besi, limonit, saprolit dan batuan induk, namun penulis telah menggabungkan beberapa teori dari beberapa penelitian sehingga profil lateri terbagi atas 5 zona yaitu:

1. *Iron cap*

Iron cap atau tudung besi yaitu lapisan berukuran lempung, berwarna coklat kemerahan, dan biasanya terdapat juga sisa-sisa tumbuhan. lapisan dengan konsentrasi besi yang cukup tinggi (*ferruginous duricrust*) dan kandungan nikel yang rendah atau merupakan laterit residu yang dapat terbentuk pada bagian atas dari profil dan melindungi lapisan endapan nikel laterit dibawahnya (Golightly, 1979).

2. Zona Limonit

Zona ini berada paling atas pada profil dan masih dipengaruhi aktivitas permukaan dengan kuat. Zona ini tersusun oleh humus dan limonit. Mineral-mineral penyusunnya adalah goethit, hematit, tremolit dan mineral-mineral lain yang terbentuk pada kondisi asam dekat permukaan dengan relief relatif datar. Secara umum material-material penyusun zona ini berukuran halus (lempung-lanau), sering dijumpai mineral stabil seperti spinel, magnetit dan kromit (Golightly, 1979).

3. *Zona Medium Grade Limonite*

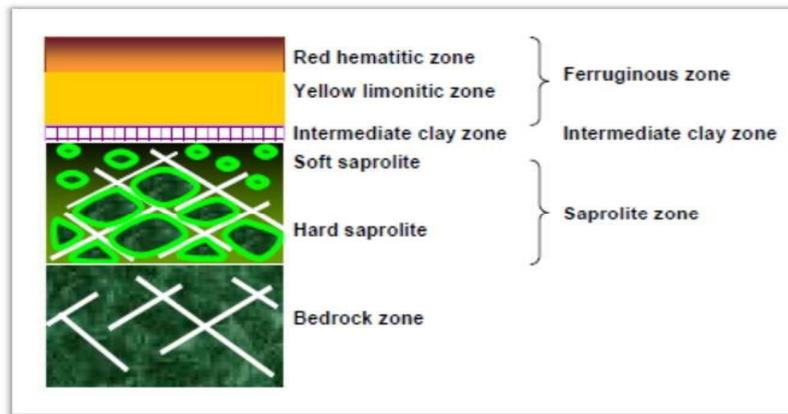
Sifat fisik zona *Medium Grade Limonite* tidak jauh berbeda dengan zona overburden. Tekstur sisa batuan induk mulai dapat dikenali dengan hadirnya fragmen batuan induk, yaitu peridotit atau serpentinit. Rata-rata berukuran antara 1-2 cm dalam jumlah sedikit. Ukuran material penyusun berkisar antara lempung-pasir halus. Ketebalan zona ini berkisar antara 0-6 meter. Umumnya singkapan zona ini terdapat pada lereng bukit yang relatif datar. Mineralisasi sama dengan zona limonite dan zona saprolit, yang membedakan adalah hadirnya kuarsa, lihopirit, dan opal (Golightly, 1979).

4. Zona Saprolit

Zona saprolit merupakan zona bijih, tersusun atas fragmen-fragmen batuan induk yang teralterasi, sehingga mineral penyusun, tekstur dan struktur batuan dapat dikenali. Derajat serpentinisasi batuan asal laterit akan mempengaruhi pembentukan zona saprolit, dimana peridotit yang sedikit terserpentinisasi akan memberikan zona saprolit dengan inti batuan sisa yang keras, pengisian celah oleh mineral – mineral garnierit, kalsedon-nikel dan kuarsa, sedangkan serpentin akan menghasilkan zona saprolit yang relatif homogen dengan sedikit kuarsa atau garnierit.

Zona saprolit merupakan lapisan setelah zona limonit pada profil laterit, dimana pada lapisan ini terjadi proses pengayaan unsur Ni yang lebih besar dibandingkan zona lapisan lainnya. Hal ini terjadi karena pada saat proses lateritisasi yang terjadi dimana air yang berfungsi sebagai penyuplai mineral-mineral pembawa unsur Ni akan mengalir masuk melalui kekar atau celah batuan dan 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 maka pada zona saprolit ini akan terjadi pengayaan supergen. Lapisan saprolit juga dicirikan oleh adanya tekstur sisa dari batuan induk berupa boulder yang kayak akan kadar nikel (Waheed Ahmad, 2002).

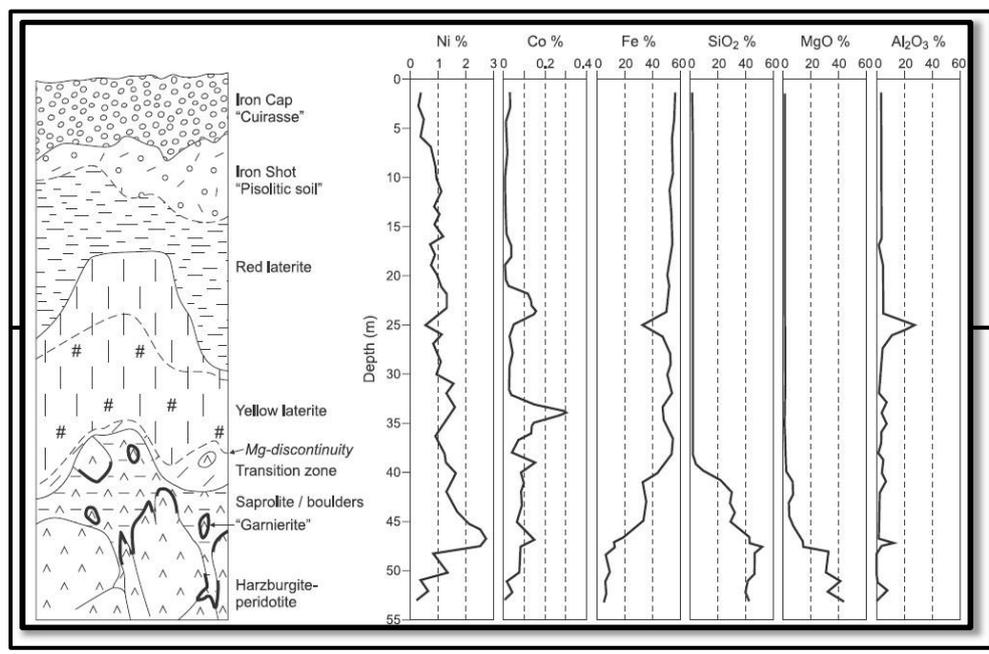
Menurut Waheed Ahmad (2002) zona saprolit terbagi atas 2 lapisan berdasarkan tingkat pelapukannya yang disebut *soft saprolit* yang tinggi akan tingkat pelapukan hingga menghasilkan ciri-ciri yang hampir menyerupai limonit dan *rocky saprolit* yang tingkat pelapukannya lebih rendah dibandingkan yang terjadi pada lapisan *soft saprolit*. Pada gambar 14 memperlihatkan penampang laterit hasil pelapukan, (Waheed Ahmad, 2002).



Gambar 14 Penampang Laterit Hasil Pelapukan Yang Membagi Zona Saprolit Menurut Waheed Ahmad (2002)

Berdasarkan kandungan fragmen batuan, zona saprolit dibagi menjadi dua yaitu:

- Soft Saprolit*. Mengandung fragmen-fragmen berukuran *boulder* kurang dari 25%.
- Rocky Saprolit*. Mengandung fragmen-fragmen berukuran *boulder* lebih dari 50%.



Gambar 15 Skema Penampang Laterit Memperlihatkan *Soft Saprolite* dan *Rocky Saprolite* (Horn dan Bacon (2002) dalam Martin dkk (2009))

5. Zona batuan induk (*Bedrock zone*)

Zona batuan induk berada pada bagian paling bawah dari profil laterit. Batuan induk ini merupakan batuan yang masih segar dengan pengaruh proses-proses pelapukan sangat kecil. Tersusun atas bongkah lebih besar dari 75 cm dan blok batuan dasar dan secara umum sudah tidak mengandung mineral ekonomis lagi. Zona ini terfrakturisasi kuat, kadang - kadang membuka, terisi oleh mineral garnierit dan silika. Frakturisasi ini diperkirakan menjadi penyebab muncul atau adanya *root zone of weathering* (zona akar – akar pelapukan), yaitu *high grade Ni*, akan tetapi posisinya tersembunyi. Batuan induk umumnya berupa peridotit, dunit, serpentinit (Waheed Ahmad, 2002).

Pada gambar berikut menunjukkan susunan penampang nikel laterit menurut Elias, 2002.

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 16 Generalisasi profil laterit (Elias,2002)

2.3 Pelapukan Endapan Nikel Laterit

Pelapukan adalah proses perubahan fisik dan kimia pada batuan atau mineral yang berlangsung di atau dekat permukaan bumi (Ahmad, 2002). Sedangkan Pearl (1988), menyatakan bahwa ketika batuan terangkat ke permukaan

secara perlahan-lahan akan pecah (retak). Retakan pada batuan inilah yang merupakan akses yang baik untuk terjadinya proses pelapukan. Pelapukan disebabkan oleh kontak batuan dengan air, udara, dan organisme.

Menurut Pearl (1988), terdapat 2 dua macam pelapukan, yaitu : pelapukan mekanis dan pelapukan kimia. Walaupun kenyataannya di alam, kedua proses pelapukan tersebut sering terjadi bersama-sama.

1. Pelapukan mekanis

Pelapukan mekanis menyebabkan batuan menjadi pecah-pecah melalui berbagai kekuatan. Proses tersebut tanpa merubah komposisi kimia dari materialnya (Pearl,1988). Batuan yang mengalami proses pelapukan mekanik akan pecah menjadi bagian-bagian yang kecil. Hasil akhir proses ini ialah material kecil yang berasal dari batuan yang besar. Perombakan menjadi material kecil mengakibatkan bertambahnya luas permukaan material, sehingga menambah efektifitas pelapukan kimia.

2. Pelapukan kimia

Menurut Ahmad (2002), bahwa pelapukan kimia merupakan merupakan proses dimana batuan bereaksi dengan agen-agen atmosfer, hidrosfer dan aktifitas biologi untuk membentuk fase mineral yang lebih stabil. Batuan terurai melalui proses kimia. Pelapukan kimia (yang berhubungan dengan proses lateritisasi terjadi dalam 4 macam (Ahmad, 2002), yaitu :

A) Hidrolisis

Merupakan proses kimia oleh adanya penguraian mineral menjadi komponen-komponen yang lebih stabil dibawah pengaruh pelapukan kimia. Sedangkan Ollier (1969), menyatakan bahwa hidrolisis merupakan reaksi antara mineral dengan air, yaitu antara ion H^+ dan ion OH^- air dengan ion-ion mineral.

B) Oksidasi

Agen oksidasi pada lingkungan tanah adalah oksigen yang larut dalam air hujan dan air tanah. Kondisi oksidasi hanya berada diatas permukaan air tanah, sedangkan di bawah muka air tanah merupakan lingkungan reduksi. Oksidasi dan reduksi merupakan proses yang membentuk mineral-mineral

dengan oksigen, atau jika mengikutsertakan air akan menjadi mineral hidroksida.

C) Hidrasi

Kehadiran ion hidroksil (OH), banyaknya oksidasi dihasilkan melalui penguraian mineral kemudian diubah menjadi hidroksida. Hidrasi merupakan proses penyebaran molekul-molekul air oleh mineral, sehingga membentuk mineral *hidrous*. Contoh hematit menjadi limonit.

D) Larutan (*solution*)

Ketika pelapukan kimia berlanjut, hal ini menjadi lebih penting karena semua unsur akan terurai dari mineral-mineral utamanya yang pindah (hilang) dari lingkungan dimana proses larutan terjadi.

Proses kimia yang umumnya berlangsung pada pelapukan batuan ultrabasa adalah hidrolisis dan oksidasi. Hidrolisis merupakan tipe dari reaksi kimia antara mineral dan air selanjutnya menghasilkan suatu kelebihan ion H⁺ atau OH⁻ dalam larutan (Krauskopf dan Bird, 1995).

Menurut krauskopf dan Bird (1955), proses hidrolisis adalah proses primer pada pelapukan silikat. Reaksi hidrolisis yang dialami olivin adalah :



Olivin

Keterangan : A = (Mg,Fe)

Proses oksidasi terjadi pada kation Fe²⁺ mengalami oksidasi dan menghasilkan oksidasi besi dengan reaksi (Krauskopf dan Bird, 1955) :



Hematit

Hematit (Fe₂O₃) yang terbentuk kemudian mengalami hidrasi, reaksi penambahan air pada mineral (Krauskopf dan Bird, 1955) sehingga oksidasi besi ini berubah menjadi oksidasi besi terhidrasi yang merupakan penyusun utama limonit (2Fe₂O₃.3H₂O) dan goetit (Fe₂O₃.H₂O) (Ahmad,2002).

2.4 Metode *Inverse Distance Weighting* (IDW)

Inverse Distance Weighting (IDW) merupakan suatu metode geostatistika terkait interpolasi yang digunakan untuk menaksir nilai pada lokasi yang tidak tersampel berdasarkan data sekitarnya (Hendro Purnomo, 2018;1). Metode ini menggunakan penaksiran dari *average* dari nilai suatu titik bor terhadap wilayah disekitarnya. Wilayah yang berdekatan dengan titik bor akan mendapatkan bobot yang lebih besar jika dibandingkan dengan wilayah terluar dari titik bor tersebut (Agus Haris, 2005 dalam Arham Rahmat, 2021; 21 -23).