

**SKRIPSI**

**STUDI KARAKTERISTIK MINERALOGI DAN GEOKIMIA PADA  
ZONA PROFIL ENDAPAN NIKEL LATERIT DI LOKASI IUP PT  
PUTRA MEKONGGA SEJAHTERA, KABUPATEN KOLAKA,  
SULAWESI TENGGARA**

**Disusun dan diajukan oleh**

**MUH. WAHYU DZULKIFLI A**

**D111181014**



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2022**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**STUDI KARAKTERISTIK MINERALOGI DAN GEOKIMIA PADA  
ZONA PROFIL ENDAPAN NIKEL LATERIT DI LOKASI IUP PT  
PUTRA MEKONGGA SEJAHTERA, KABUPATEN KOLAKA,  
SULAWESI TENGGARA**

**Disusun dan diajukan oleh  
MUH. WAHYU DZULKIFLI.A  
D111181014**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 2 September 2022.  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,




Dr. Ir. Irzal Nur, MT.  
NIP.196604091997031002

Asran Ilyas, ST. MT. Ph.D.  
NIP.197303142000121001

Ketua Program Studi,



  
Asran Ilyas, ST. MT. Ph.D.  
NIP. 197303142000121001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muh. Wahyu Dzulkifli A  
NIM : D111181014  
Program Studi : Teknik Pertambangan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Studi Karakteristik Mineralogi dan Geokimia Pada Zona Profil  
Endapan Nikel Laterit di Lokasi IUP PT Putra Mekongga Sejahtera,  
Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara

adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

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

Makassar, 19 September 2022

Yang menyatakan



Muh. Wahyu Dzulkifli A

## ABSTRAK

PT Putra Mekongga Sejahtera (PT PMS) merupakan salah satu perusahaan tambang nikel yang beroperasi di Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara. Daerah Pomalaa tersusun atas batuan beku anggota Kompleks Ultramafik (Ku) yang berumur Kapur. Kegiatan penelitian bertujuan untuk mengidentifikasi mineral penyusun, mengetahui kelimpahan unsur dan senyawa, distribusi sebaran unsur, serta korelasi unsur dan senyawa mayor dan minor pada zona profil endapan nikel laterit. Data penelitian berupa sampel laterit dan batuan, serta data pengeboran sebanyak 76 titik. Analisis mineralogi dilakukan dengan metode XRD pada sampel laterit dan pengamatan secara langsung serta analisis petrografi terhadap batuan dasar. Analisis karakteristik geokimia endapan nikel laterit dilakukan dengan membuat peta distribusi Ni, Fe, Co, CaO, SiO<sub>2</sub>, MgO dan rasio silika/magnesia (S/M) menggunakan *software* ArcGIS 10.8, dengan metode *Inverse Distance Weighting* serta analisis statistik bivariat. Hasil analisis XRD pada zona limonit didominasi oleh mineral goetit, hematit, dan kuarsa. Pada zona saprolit terdapat antigorit, klorit, kuarsa, dan magnetit. Pada zona *bedrock* dijumpai mineral ortopiroksin, olivin, klinopiroksin, serta serpentin, dengan jenis batuan harzburgit, dan tipe endapan hidrosilikat. Berdasarkan analisis deskriptif, kadar MgO, SiO<sub>2</sub>, S/M dan CaO meningkat ke arah bawah profil, kadar Fe dan Co menurun ke arah bawah, sedangkan kadar Ni meningkat hingga ke zona saprolit, namun menurun ke zona *bedrock*. Pada zona limonit unsur dan senyawa yang berkorelasi yaitu SiO<sub>2</sub> vs S/M (positif sangat kuat), MgO vs SiO<sub>2</sub> dan CaO, Fe vs Co dan SiO<sub>2</sub> vs CaO (positif kuat), sedangkan Fe vs SiO<sub>2</sub> dan S/M (negatif kuat). Pada zona saprolit unsur dan senyawa yang berkorelasi yaitu Fe vs Co, SiO<sub>2</sub> vs S/M (positif sangat kuat), sedangkan MgO vs Fe dan MgO vs Co (negatif kuat). Pada zona *bedrock* unsur dan senyawa yang berkorelasi yaitu SiO<sub>2</sub> vs S/M (positif sangat kuat).

Kata kunci: Nikel laterit, mineral, unsur dan senyawa, kadar, korelasi.

## **ABSTRACT**

*PT Putra Mekongga Sejahtera (PT PMS) is a nickel mining company operating in Pomalaa, Kolaka Regency, Southeast Sulawesi Province. The Pomalaa area is composed of igneous rocks belonging to the Ultramafic Complex (Ku) of Cretaceous age. The research aims to identify the constituent minerals, determine the abundance of elements and compounds, distribution of elements distribution, as well as the correlation of major and minor elements and compounds in the profile zone of laterite nickel deposits. Research data is in the form of laterite and rock samples, as well as drilling data which is 76 points. Mineralogical analysis was carried out using XRD method on laterite samples and direct observation and petrographic analysis of bedrock. Analysis of the geochemical characteristics of laterite nickel deposits was carried out by making distribution maps of Ni, Fe, Co, CaO, SiO<sub>2</sub>, MgO and silica/magnesia ratio (S/M) using ArcGIS 10.8 software, using Inverse Distance Weighting method and bivariate statistical analysis. The results of XRD analysis in the limonite zone were dominated by minerals goethite, hematite, and quartz. In the saprolite zone there are antigorite, chlorite, quartz, and magnetite. In the bedrock zone there are orthopyroxene, olivine, clinopyroxene, and serpentine minerals are found, with harzburgite rock types, and hydrous silicate deposits. Based on descriptive analysis, the grade of MgO, SiO<sub>2</sub>, S/M and CaO increased towards the bottom of the profile, the grade of Fe and Co decreased downwards, while the grade of Ni increased to the saprolite zone, but decreased to the bedrock zone. In the limonite zone, the correlated elements and compounds are SiO<sub>2</sub> vs S/M (very strong positive), MgO vs SiO<sub>2</sub> and CaO, Fe vs Co and SiO<sub>2</sub> vs CaO (strong positive), while Fe vs SiO<sub>2</sub> and S/M (strong negative). In the saprolite zone, the correlated elements and compounds were Fe vs Co, SiO<sub>2</sub> vs S/M (strongly positive), while MgO vs Fe and MgO vs Co (strong negative). In the bedrock zone, the correlated elements and compounds are SiO<sub>2</sub> vs S/M (very strong positive).*

*Keywords: Nickel laterite, minerals, elements and compounds, grade, correlation.*

## **KATA PENGANTAR**

Puji dan syukur penyusun panjatkan kehadirat Allah *Subhanallahu Wa Ta'ala*, Tuhan yang Maha Kuasa, yang atas berkat rahmat, cinta dan kasih sayang-Nya yang tak terhingga penyusunan tugas akhir yang berjudul "Studi Karakteristik Mineralogi dan Geokimia Pada Zona Profil Endapan Nikel Laterit di Lokasi IUP PT Putra Mekongga Sejahtera, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara" yang merupakan salah satu syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik Pertambangan di Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, dapat penyusun selesaikan. Salam dan sholawat senantiasa kita haturkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW, beserta keluarga beliau dan para sahabat beliau.

Selama proses penyusunan tugas akhir ini ini, penyusun mendapatkan banyak sekali bantuan dan masukan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya pada PT Putra Mekongga Sejahtera yang telah memberikan kesempatan serta ilmu dan pengalaman selama melakukan penelitian tugas akhir. Bapak La arianto Maja sebagai Kepala Teknik Tambang, Bapak Sultrisno, ST. sebagai Wakil Kepala Teknik Tambang sekaligus pembimbing penyusunan tugas akhir di perusahaan dan seluruh staf karyawan dari PT Putra Mekongga Sejahtera.

Ucapan terima kasih juga saya ucapkan kepada Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, MT. dan Bapak Asran Ilyas ST. MT. Ph.D. selaku Dosen Pembimbing dari Laboratorium Eksplorasi Mineral, Departemen Teknik Pertambangan, Universitas Hasanuddin yang telah membimbing penulis dalam penyusunan proposal dan penyusunan laporan tugas akhir. Kepada Ketua Departemen dan Staf Departemen Teknik Pertambangan yang telah membantu administrasi penulis ketika akan melaksanakan penyusunan tugas akhir.

Kepada Ayahanda, Ibunda tercinta dan adik-adik tersayang yang selalu senantiasa mendoakan, memberikan semangat dan dukungan selama melaksanakan penelitian sampai penyusunan laporan tugas akhir ini.

Tak lupa jua kepada seluruh saudara-saudaraku TUNNEL 2018 yang tercinta yang telah banyak memberikan bantuan selama ini terkhusus kepada Ketua Angkatan Alfian Lasefiati, Tasyah Shafira, Mukhlis, Zahran, Tony Chen, dan Muh Jabal Nur yang telah memberikan semangat dan dukungan selama melaksanakan penelitian sampai penyusunan laporan tugas akhir ini. Kepada Anggota Laboratorium Eksplorasi Mineral dan juga seluruh mahasiswa Departemen Teknik Pertambangan.

Sebagai manusia biasa yang tidak lepas dari berbagai kekurangan penyusun menyadari bahwa di dalam laporan tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat penyusun harapkan guna penyempurnaan laporan ini. Semoga laporan tugas akhir ini dapat berguna bagi kita semua. Sekian dan terima kasih.

Makassar, 19 September 2022

Muh. Wahyu Dzulkifli A

# DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Tahapan Penelitian .....	4
1.6 Lokasi Penelitian.....	5
<b>BAB II KARAKTERISTIK MINERALOGI DAN GEOKIMIA</b> .....	8
2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian .....	8
2.2 Endapan Nikel Laterit.....	12
2.3 Genesis Nikel Laterit .....	18
2.4 Profil Endapan Nikel Laterit.....	24
2.5 Mineralogi dan Geokimia Endapan Nikel Laterit.....	28
2.6 Analisis Statistik Univariat dan Bivariat.....	30



<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>32</b>
3.1 Pengumpulan Data .....	32
3.2 Pengolahan Data .....	49
3.3 Bagan Alir Penelitian .....	52
<b>BAB IV MINERALOGI DAN GEOKIMIA BIJIH NIKEL .....</b>	<b>54</b>
4.1 Lokasi Pengambilan Sampel di Daerah Penelitian .....	54
4.2 Profil Endapan Nikel Laterit Daerah Penelitian .....	54
4.3 Karakteristik Mineralogi Endapan Nikel Laterit Daerah Penelitian .....	56
4.4 Karakteristik Geokimia Endapan Nikel Laterit Daerah Penelitian .....	66
4.5 Diskusi .....	100
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>106</b>
5.1 Kesimpulan .....	106
5.2 Saran .....	107
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>108</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>112</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Peta lokasi IUP PT Putra Mekongga Sejahtera. ....	6
1.2 Lokasi Blok IUP PT Putra Mekongga Sejahtera. ....	7
2.1 Peta Geologi Lembar Kolaka (dimodifikasi dari Simandjuntak dkk.,1993).....	12
2.2 Penampang profil endapan <i>hydrous mg silicate</i> (Laznicka, 1985; Marsh et al., 2013).....	16
2.3 Penampang profil endapan lempung silika di Murrin Murrin, Australia (Laznicka, 1985; Marsh et al., 2013). ....	17
2.4 Penampang profil endapan oksida di Moa Bay, Cuba (Laznicka, 1985; Marsh et al., 2013).....	17
2.5 Klasifikasi batuan ultramafik berdasarkan komposisi mineral olivin, ortopiroksin (opx), dan klinopiroksin (cpx), menurut Streckeisen (1974) .....	21
2.6 Klasifikasi Batuan Beku (Travis, 1955).....	22
2.7 Profil nikel laterit (Elias, 2002).....	27
2.8 Skema transformasi mineral akibat pelapukan batuan dasar (batuan ultramafik) (Nahon et al., 1992) .....	29
3.1 Peta lokasi pengambilan sampel .....	34
3.2 Lokasi SC-01 .....	34
3.3 Lokasi SC-02. ....	35
3.4 Daerah Lokasi Pengambilan Sampel SC-01 dan SC-02.....	35
3.5 Pemilahan sampel .....	37
3.6 Proses peremukan sampel menggunakan alat <i>jaw crusher</i> .....	38
3.7 Proses pencampuran material dengan menggunakan sekop. ....	38
3.8 Penyusunan sampel menjadi matriks.....	39
3.9 Proses peremukan sampel ukuran -10 mm .....	40

3.10	Proses pencampuran sampel nikel dengan menggunakan sekop 10D .....	40
3.11	Peremukan sampel nikel menggunakan <i>roll crusher</i> .....	41
3.12	Pengambilan sampel dengan menggunakan sekop 3D. ....	42
3.13	Proses pengeringan sampel bijih nikel laterit.....	42
3.14	Proses penggerusan sampel nikel laterit dengan alat <i>pulverizer</i> .....	43
3.15	<i>Shaking material</i> .....	44
3.16	Proses pembuatan matriks dan pengemasan sampel preparasi .....	44
3.17	Proses memadatkan sampel pada cup analisis XRF.....	46
3.18	Proses analisis kadar sampel menggunakan instrumen XRF.....	46
3.19	Proses pembacaan hasil analisis kadar sampel .....	47
3.20	Analisis menggunakan XRD.....	48
3.21	Mikroskopis tipe Nikon Eclipse LV 100N POL .....	49
3.22	Proses peta distribusi kadar unsur dengan aplikasi ArcGIS 10.8 .....	50
3.23	Proses analisis korelasi pearson dengan menggunakan IBM SPSS <i>Statistic</i> .....	53
3.24	Bagan alir penelitian.....	54
4.1	Profil endapan nikel laterit di daerah penelitian yang terdiri atas zona limonit, dan zona saprolit.....	56
4.2	Profil endapan nikel laterit pada zona batuan dasar .....	57
4.3	Sampel ST-BR01 batuan peridotit.....	58
4.4	Fotomikrograf sayatan tipis batuan dasar dengan kode sampel ST-BR01 (A) Fotomikrograf nikol silang; (B) Fotomikrograf nikol sejajar. Keterangan: srp =serpentin, cpx = klinopiroksin, chl = klorit, opq = opak, opx = ortopiroksin .....	59
4.5	Sampel ST-BR02 batuan peridotit .....	60
4.6	Fotomikrograf sayatan tipis batuan dasar dengan kode sampel ST-BR02. (A) Fotomikrograf nikol silang; (B) Fotomikrograf nikol sejajar Keterangan: srp = serpentin, chl = klorit, opq = opak, opx = ortopiroksin.....	61

4.7	Difraktogram keterdapatan mineral hasil analisis XRD pada sampel dengan kode ST-SL01 pada zona limonit .....	62
4.8	Difraktogram keterdapatan mineral hasil analisis XRD pada sampel dengan kode ST-SL02 pada zona limonit .....	63
4.9	Difraktogram keterdapatan mineral hasil analisis XRD pada sampel dengan kode ST-SS01 pada zona saprolit .....	64
4.10	Difraktogram keterdapatan mineral hasil analisis XRD pada sampel dengan kode ST-SS02 pada zona saprolit .....	65
4.11	Peta sebaran titik bor dan model sebaran kadar unsur Ni .....	69
4.12	Peta sebaran titik bor dan model sebaran kadar unsur Fe .....	71
4.13	Peta sebaran titik bor dan model sebaran kadar unsur Co .....	73
4.14	Peta sebaran titik bor dan model sebaran kadar senyawa SiO <sub>2</sub> .....	75
4.15	Peta sebaran titik bor dan model sebaran kadar senyawa MgO.....	77
4.16	Peta sebaran titik bor dan model sebaran kadar senyawa CaO.....	79
4.17	Peta sebaran titik bor dan model sebaran rasio S/M .....	81
4.18	Profil Vertikal Laterit.....	83
4.19	Grafik Korelasi SiO <sub>2</sub> terhadap S/M .....	88
4.20	Grafik Korelasi Fe terhadap Ni .....	89
4.21	Grafik Korelasi Fe terhadap SiO <sub>2</sub> .....	90
4.22	Grafik Korelasi MgO terhadap CaO .....	93
4.23	Grafik Korelasi SiO <sub>2</sub> terhadap S/M .....	94
4.24	Grafik Korelasi Fe terhadap S/M .....	95
4.25	Grafik Korelasi SiO <sub>2</sub> terhadap S/M .....	98
4.26	Grafik Korelasi Ni terhadap S/M .....	99
4.27	Grafik Korelasi CaO terhadap Ni .....	100
4.28	Sketsa karakteristik profil endapan nikel laterit di daerah penelitian .....	105

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Peran beberapa unsur selama pelapukan laterit (Ahmad, 2009).....	14
2.2 <i>Summary</i> karakteristik berbagai tipe endapan Ni Laterit (Butt, 2005)..	15
2.3 Klasifikasi <i>mobile element</i> pada endapan Ni laterit (Ahmad, 2006).....	30
2.4 Interval koefisien kolerasi Pearson r (Sugiyono, 2018). .....	31
4.1 Koordinat lokasi pengambilan sampel penelitian.....	55
4.2 Hasil analisis XRF pada sampel zona limonit dan <i>saprolite</i> . .....	66
4.3 Kadar unsur Ni tiap lubang bor.....	67
4.4 Kadar unsur Fe tiap lubang bor. ....	70
4.5 Kadar unsur Co tiap lubang bor.....	72
4.6 Kadar senyawa SiO <sub>2</sub> tiap lubang bor. ....	74
4.7 Kadar Senyawa MgO tiap lubang bor. ....	76
4.8 Distribusi CaO tiap lubang bor.....	78
4.9 Distribusi S/M tiap lubang bor. ....	80
4.10 Data deskriptif unsur dan senyawa mayor dan minor profil laterit..	82
4.11 Data deskriptif kadar unsur dan senyawa mayor dan minor pada zona limonit..	85
4.12 Hasil analisis korelasi Pearson unsur dan senyawa mayor dan minor pada zona limonit.....	86
4.13 Korelasi unsur dan senyawa mayor dan minor pada zona limonit. ....	87
4.14 Data deskriptif kadar unsur dan senyawa mayor dan minor pada zona saprolit .....	91
4.15 Hasil analisis korelasi Pearson unsur dan senyawa mayor dan minor pada zona saprolit.....	92
4.16 Korelasi unsur dan senyawa mayor dan minor zona saprolit. ....	92
4.17 Data deskriptif kadar unsur dan senyawa mayor dan minor zona <i>bedrock</i> ..	96

4.18 Hasil analisis korelasi Pearson unsur dan senyawa mayor dan minor pada zona <i>bedrock</i> . .....	97
4.19 Korelasi unsur dan senyawa mayor dan minor zona <i>bedrock</i> . .....	97
4.20 Parameter perbedaan endapan nikel laterit (Freysnet et al, 2005). .....	104

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A Peta Lokasi Pengambilan Sampel Penelitian .....	114
B Deskripsi Analisis Petrografi .....	116
C Hasil Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	121
D Perhitungan Koefisien Korelasi.....	131
E <i>Database</i> Titik Bor.....	133
F Hasil Komposit <i>Database</i> Titik Bor.....	137
G Hasil Korelasi Menggunakan <i>Software</i> IBM SPSS .....	147

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Nikel merupakan salah satu komoditas tambang paling penting di dunia. Nikel umumnya diproduksi menjadi beberapa jenis seperti logam halus, bubuk, spons, dan lain-lain. Dari beberapa jenis tersebut, lebih dari 60% digunakan sebagai bahan baku pembuatan baja tahan karat atau *stainless steel*. Nikel memiliki dua jenis endapan yaitu nikel laterit dan nikel sulfida dimana jumlah cadangan endapan nikel laterit dunia sebesar 72% dan endapan nikel sulfida 28%, namun sampai saat ini jumlah produksi nikel dunia 58% masih berasal dari endapan nikel sulfida sedangkan jumlah produksi dari endapan nikel laterit hanya 42% (Yildirim dkk., 2012).

Indonesia merupakan salah satu negara dengan sumber daya, cadangan dan penghasil nikel laterit terbesar di dunia. Cadangan bijih nikel laterit di Indonesia mencapai 12% cadangan nikel dunia, yang tersebar di Pulau Sulawesi, Maluku, dan pulau-pulau kecil di sekitarnya. Salah satu daerah penghasil nikel di Pulau Sulawesi adalah Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara.

Endapan nikel laterit merupakan hasil pelapukan lanjut dari batuan ultrabasa pembawa Ni-Silikat. Pembentukan endapan nikel laterit dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya adalah batuan asal, iklim, komposisi kimia, topografi, struktur dan waktu (Sutisna, 2006). Berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan endapan nikel laterit, dapat dilakukan studi mengenai karakteristik geokimia, mineralogi dan jenis endapan nikel laterit di suatu tempat.

Pembentukan endapan nikel laterit sangat dipengaruhi oleh proses pelapukan, dan proses tersebut pada batuan Kompleks Ultramafik (Ku) berpengaruh terhadap



karakteristik dan profil endapan nikel laterit yang keterdapatannya pada suatu daerah memiliki perbedaan seperti hubungan antara komposisi mineralogi batuan asalnya dan zona lateritisasi (lapisan atas atau limonit, lapisan tengah atau saprolit, dan batuan ultramafik) (Kurniadi *et al.*, 2017; Lintjewas dkk., 2019). Perbedaan karakteristik tersebut dapat diketahui berdasarkan sifat fisik, sifat kimia, serta pengamatan sifat optik pada batuan dasar untuk menentukan jenis batuan dasar pembentuk endapan nikel laterit pada daerah tersebut (Arifin dkk., 2015). Perbedaan sifat fisik dapat dilihat dari kenampakan permukaan batuan, sedangkan sifat kimia berupa kelimpahan unsur dan senyawa pada endapan yang dipengaruhi oleh proses lateritisasi. Sifat kimia dapat ditentukan berdasarkan analisis geokimia, yang digunakan untuk menentukan dan mengetahui kadar unsur dan senyawa mayor dengan kandungan lebih dari 3% seperti MgO, SiO<sub>2</sub>, Fe, dan Al, serta unsur minor dengan kandungan kurang dari 3% seperti Ni, Co, Cr, Mn, dan Ca (Rinawan dkk., 2018).

Selain itu, analisis statistik univariat dan bivariat juga dapat dilakukan untuk memperoleh gambaran perilaku sebaran unsur dan senyawa (Faisal dkk., 2020). Analisis statistik univariat berupa analisis deskriptif yang dilakukan pada unsur dan senyawa pada setiap variabel, dan analisis statistik bivariat berupa analisis korelasi yang digunakan untuk menentukan hubungan karakteristik distribusi unsur dan senyawa satu terhadap unsur dan senyawa lainnya. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada karakteristik mineralogi dan geokimia untuk mengetahui himpunan mineral-mineral penyusun, distribusi unsur, kelimpahan unsur dan senyawa, tipe endapan serta hubungan unsur dan senyawa satu terhadap unsur dan senyawa lainnya berdasarkan zona profil endapan nikel laterit pada PT Putra Mekongga Sejahtera (PT PMS), Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Endapan nikel laterit memiliki karakteristik geokimia dan mineralogi yang berbeda tiap daerah yang dipengaruhi oleh faktor-faktor yang mempengaruhi terbentuknya endapan nikel laterit. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik mineralogi endapan nikel laterit serta tipe endapan, mengetahui kelimpahan unsur dan senyawa mayor dan minor dengan membuat peta sebaran unsur dan senyawa kimia yang terkandung, menganalisis korelasi unsur dan senyawa mayor dan minor berdasarkan zonasi endapan nikel pada daerah penelitian.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengarakterisasi mineralogi pada zona profil endapan nikel laterit serta mengidentifikasi tipe endapannya.
2. Mengetahui kelimpahan dan distribusi unsur dan senyawa mayor dan minor pada zona profil endapan nikel laterit
3. Mengetahui korelasi unsur dan senyawa mayor dan minor pada zona profil endapan nikel laterit.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai referensi dan rujukan pustaka mengenai karakteristik dan sebaran mineral, tipe endapan, karakteristik kimia unsur dan senyawa mayor dan minor, serta hubungan kelimpahan dan distribusi kadar berdasarkan zona profil endapan nikel laterit pada PT Putra Mekongga Sejahtera, Kecamatan Pomalaa Selatan, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara.

## 1.5 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini dilaksanakan dalam beberapa tahap kegiatan berdasarkan tujuan penelitian yang telah diuraikan sebelumnya. Secara umum, tahap penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Perumusan masalah dan studi literatur.
2. Kegiatan lapangan dan pengambilan data.
3. Analisis laboratorium dan pengolahan data.
4. Penyusunan laporan tugas akhir.

Berdasarkan poin di atas, uraian tahap kegiatan penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Perumusan masalah dan studi literatur

Tahap perumusan masalah merupakan tahap penyusunan konsep penelitian berupa penentuan topik penelitian, merumuskan masalah serta perumusan konsep rencana penelitian, sedangkan studi literatur merupakan kegiatan berupa pengumpulan literatur atau referensi mengenai topik penelitian dan penelitian terdahulu yang menyangkut topik penelitian. Studi literatur dapat ditinjau melalui jurnal penelitian, buku, maupun artikel yang berkaitan dengan topik penelitian.

2. Kegiatan lapangan dan pengambilan data

Kegiatan lapangan dilaksanakan di lokasi Izin Usaha Pertambangan (IUP) PT PMS, yang terletak di Kecamatan Pomalaa Selatan, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara. Pelaksanaan kegiatan lapangan dilakukan dalam bentuk pengambilan data primer berupa sampel nikel laterit pada setiap zona profil endapan nikel laterit dan pengambilan posisi koordinat lokasi penelitian dan lokasi pengambilan sampel. Sementara itu, pengambilan data sekunder dilakukan di Departemen *Mining and Quality Control Quality Analysis* PT Putra Mekongga Sejahtera berupa *database* hasil pengeboran.

### 3. Analisis laboratorium dan pengolahan data

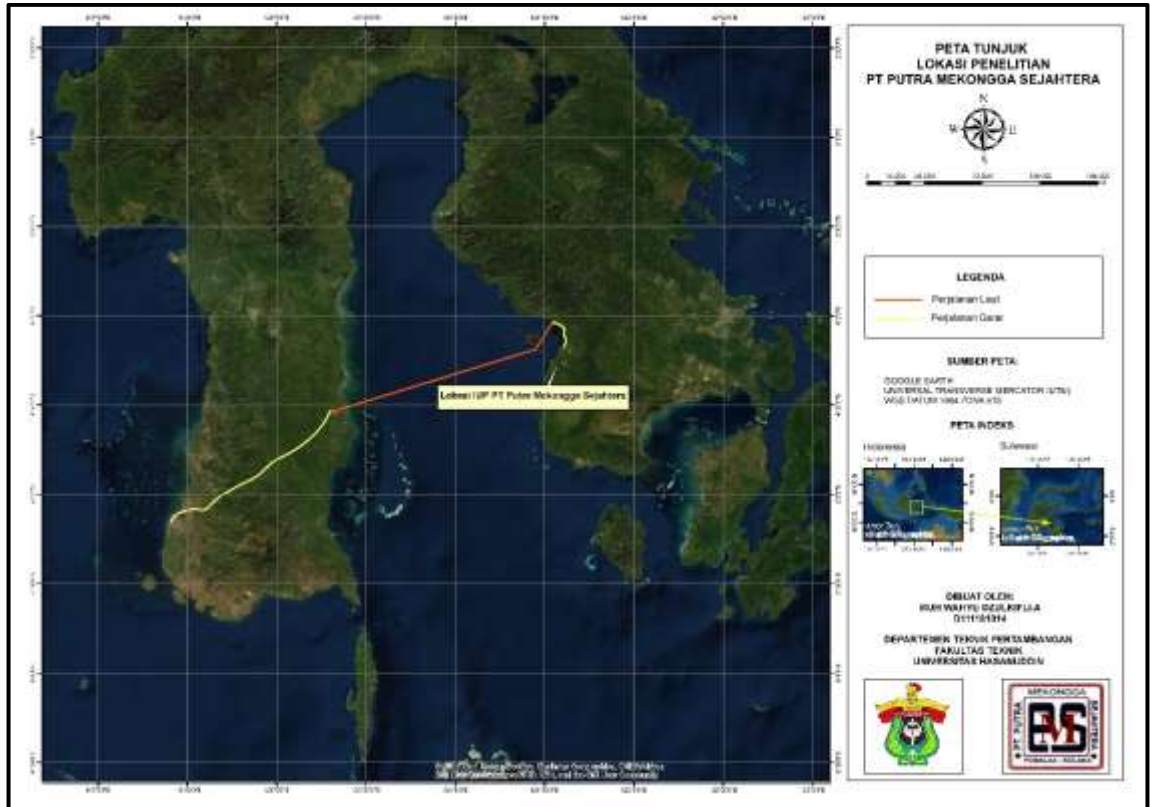
Analisis laboratorium dilakukan untuk mendapatkan data dari sampel penelitian berupa analisis Petrografi dan *X-Ray Diffraction* (XRD). Tahapan pengolahan data dilakukan untuk mendapatkan *output* data penelitian dengan menggunakan *software Match!3* untuk analisis *X-Ray Diffraction* (XRD), *Arcgis 10.8* untuk membuat distribusi unsur dan senyawa serta *software IBM SPSS Statistics v.20* untuk menganalisis hubungan antara unsur dan senyawa.

### 4. Penyusunan laporan tugas akhir

Tahap penyusunan laporan dilaksanakan untuk melaporkan hasil kegiatan dan hasil data penelitian yang telah diperoleh, serta mengkaji pembahasan dan penarikan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

## 1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi kerja praktik berada di wilayah izin usaha pertambangan PT Putra Mekongga Sejahtera yang terletak di daerah Dawi-Dawi, Kecamatan Kolaka, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara. Lokasi penelitian dapat ditempuh melalui jalur darat, udara, maupun laut. Perjalanan dari Makassar menuju lokasi penelitian dilalui menggunakan transportasi darat menuju Kabupaten Bone dengan waktu tempuh  $\pm$  4 Jam untuk sampai di Pelabuhan Bajoe. Perjalanan dari pelabuhan menuju Kabupaten Kolaka dilakukan dengan menggunakan kapal laut selama  $\pm$  12 jam menuju ke pelabuhan Kolaka. Perjalanan kemudian dilanjutkan melalui jalur darat selama  $\pm$  20 menit dari Pelabuhan Kolaka ke Kecamatan Pomalaa. Perjalanan dari daerah Dawi-dawi Kecamatan Pomalaa menuju *site* PT PMS ditempuh menggunakan kendaraan roda empat dengan waktu tempuh  $\pm$  15 menit. Peta tunjuk lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.1.

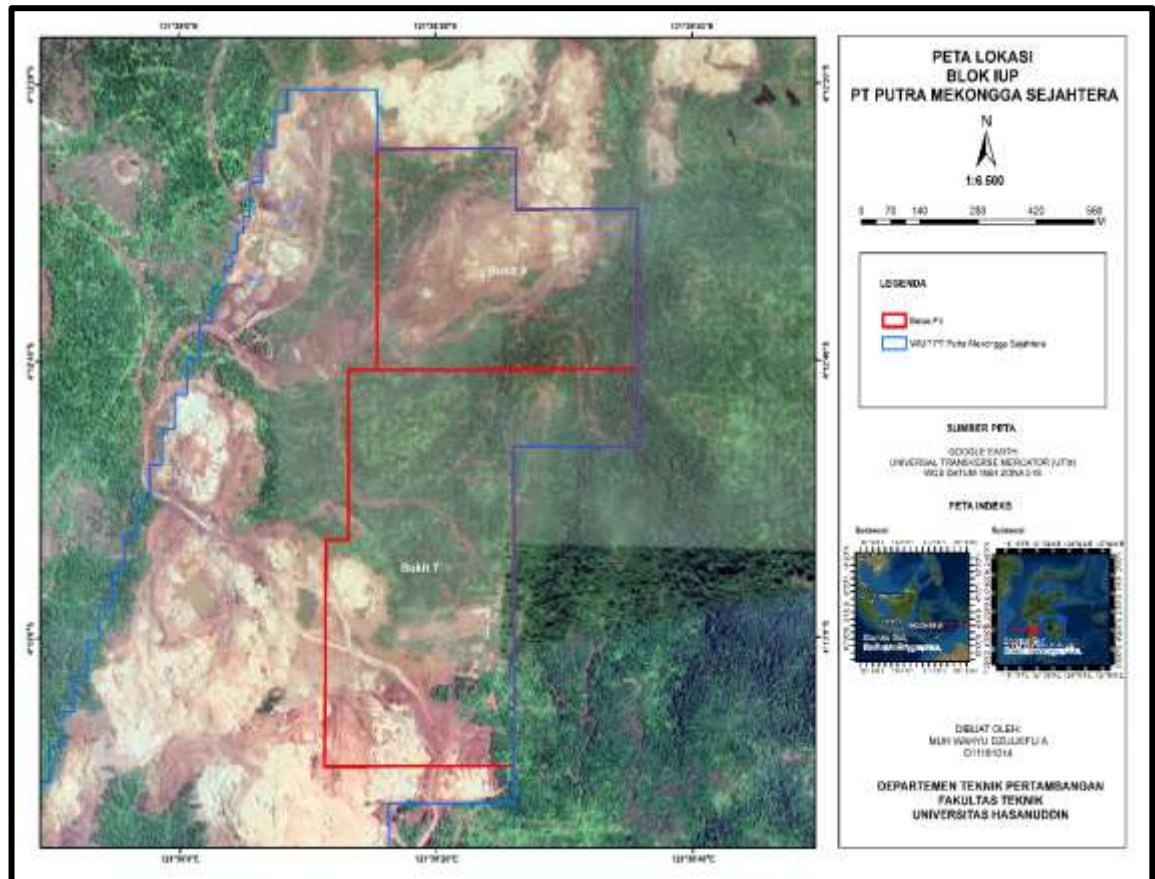


Gambar 1.1 Peta tunjuk lokasi penelitian PT Putra Mekongga Sejahtera.

Seperti daerah-daerah lain di Indonesia, wilayah Kecamatan Pomalaa secara umum memiliki 2 musim, yaitu musim kemarau dan musim hujan. Keadaan musim dipengaruhi oleh arus angin yang melalui wilayah tersebut dan juga dipengaruhi oleh curah hujan yang terjadi. Musim hujan biasa terjadi pada bulan November hingga Maret dengan curah hujan berkisar antara 250-350 mm, dilanjutkan dengan musim pancaroba yang biasanya terjadi pada bulan April dimana curah hujan tidak menentu antara tinggi dan rendah. Pada bulan Mei hingga Agustus curah hujan cenderung rendah dengan kisaran antara 75-250 mm dan dilanjutkan dengan musim kemarau pada bulan Agustus hingga Oktober. Akan tetapi, dengan adanya perubahan kondisi alam yang tidak menentu, maka mengakibatkan keadaan musim yang sering menyimpang dari kebiasaan (PT Putra Mekongga Sejahtera, 2008).

Penelitian ini dilakukan di IUP PT PMS tepatnya berada pada Blok bagian Utara yakni *site* bukit 7 dan 9 yang pada saat ini masih aktif dalam proses penambangan

dengan menggunakan sistem penambangan terbuka dengan metode penambangan *open pit*, blok ini merupakan blok dengan cadangan tertinggi yang ada di IUP PT PMS. Gambar 1.2 memperlihatkan lokasi penelitian di Blok Utara, Tengah dan Selatan IUP PT PMS.



Gambar 1.2 Lokasi Blok IUP PT Putra Mekongga Sejahtera.

## **BAB II**

### **KARAKTERISTIK MINERALOGI DAN GEOKIMIA**

#### **2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian**

Berdasarkan hasil analisis dari Peta Geologi Lembar Kolaka yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Tahun 1993, Area Penambangan PT PMS termasuk dalam wilayah ujung selatan dari Lengan Tenggara Sulawesi yang dibagi menjadi 5 satuan geomorfologi, yaitu sebagai berikut (Simandjuntak dkk.,1993):

##### **2.1.1 Satuan Geomorfologi Pegunungan**

Satuan morfologi pegunungan menempati bagian terluas di kawasan ini, terdiri atas Pegunungan Mekongga, Pegunungan Tangkeleboke, Pegunungan Mendoke dan Pegunungan Rumbia yang terpisah di ujung selatan Lengan Tenggara. Puncak tertinggi pada rangkaian pegunungan Mekongga adalah Gunung Mekongga yang mempunyai ketinggian 2790 mdpl. Pegunungan Tangkelamboke mempunyai puncak Gunung Tangkelamboke dengan ketinggian 1500 mdpl. Satuan morfologi ini mempunyai topografi yang kasar dengan kemiringan lereng tinggi. Rangkaian pegunungan dalam satuan ini mempunyai pola yang hampir sejajar berarah barat laut–tenggara. Arah ini sejajar dengan pola struktur sesar regional di kawasan ini. Pola ini mengindikasikan bahwa pembentukan morfologi pegunungan itu erat hubungannya dengan sesar regional.

Satuan pegunungan terutama dibentuk oleh batuan malihan dan setempat oleh batuan ofiolit. Ada perbedaan yang khas di antara kedua penyusun batuan itu. Pegunungan yang disusun oleh batuan ofiolit mempunyai punggung gunung yang panjang dan lurus dengan lereng relatif lebih rata, serta kemiringan yang tajam.

Sementara itu, pegunungan yang dibentuk oleh batuan malihan, punggung gunungnya terputus pendek-pendek dengan lereng yang tidak rata walaupun bersudut tajam.

#### 2.1.2 Satuan Geomorfologi Perbukitan Tinggi

Satuan morfologi perbukitan tinggi menempati bagian selatan Lengan Tenggara, terutama di selatan Kendari. Satuan ini terdiri atas bukit-bukit yang mencapai ketinggian 500 mdpl dengan morfologi kasar. Batuan penyusun morfologi ini berupa batuan sedimen klastika Mesozoikum dan Tersier.

#### 2.1.3 Satuan Geomorfologi Perbukitan Rendah

Satuan morfologi perbukitan rendah melampar luas di Utara Kendari dan ujung selatan Lengan Tenggara Sulawesi. Satuan ini terdiri atas bukit kecil dan rendah dengan morfologi yang bergelombang. Batuan penyusun satuan ini terutama batuan sedimen klastika Mesozoikum dan Tersier.

#### 2.1.4 Satuan Geomorfologi Pedataran

Satuan morfologi dataran rendah dijumpai di bagian tengah ujung selatan Lengan Tenggara Sulawesi. Tepi selatan Dataran Wawotobi dan Dataran Sampara berbatasan langsung dengan morfologi pegunungan. Penyebaran morfologi ini tampak sangat dipengaruhi oleh sesar geser mengiri (Sesar Kolaka dan Sistem Sesar Konawehea). Kedua sistem ini diduga masih aktif, yang ditunjukkan oleh adanya torehan pada endapan aluvial dalam kedua dataran tersebut. Sehingga sangat mungkin kedua dataran itu terus mengalami penurunan. Akibat dari penurunan ini tentu berdampak buruk pada dataran tersebut, di antaranya pemukiman dan pertanian di kedua dataran itu akan mengalami banjir yang semakin parah setiap tahunnya.

Dataran Langkowala yang melampar luas di ujung selatan Lengan Tenggara, merupakan dataran rendah. Batuan penyusunnya terdiri atas batupasir kuarsa dan konglomerat kuarsa Formasi Langkowala. Dalam dataran ini mengalir sungai-sungai yang pada musim hujan berair melimpah sedang pada musim kemarau kering. Hal ini



mungkin disebabkan batupasir dan konglomerat sebagai dasar sungai masih lepas, sehingga air dengan mudah merembes masuk ke dalam tanah. Sungai tersebut di antaranya Sungai Langkowala dan Sungai Tinanggea. Batas selatan antara Dataran Langkowala dan Pegunungan Rumbia merupakan tebing terjal yang dibentuk oleh sesar berarah hampir barat-timur.

#### 2.1.5 Satuan Geomorfologi Karst

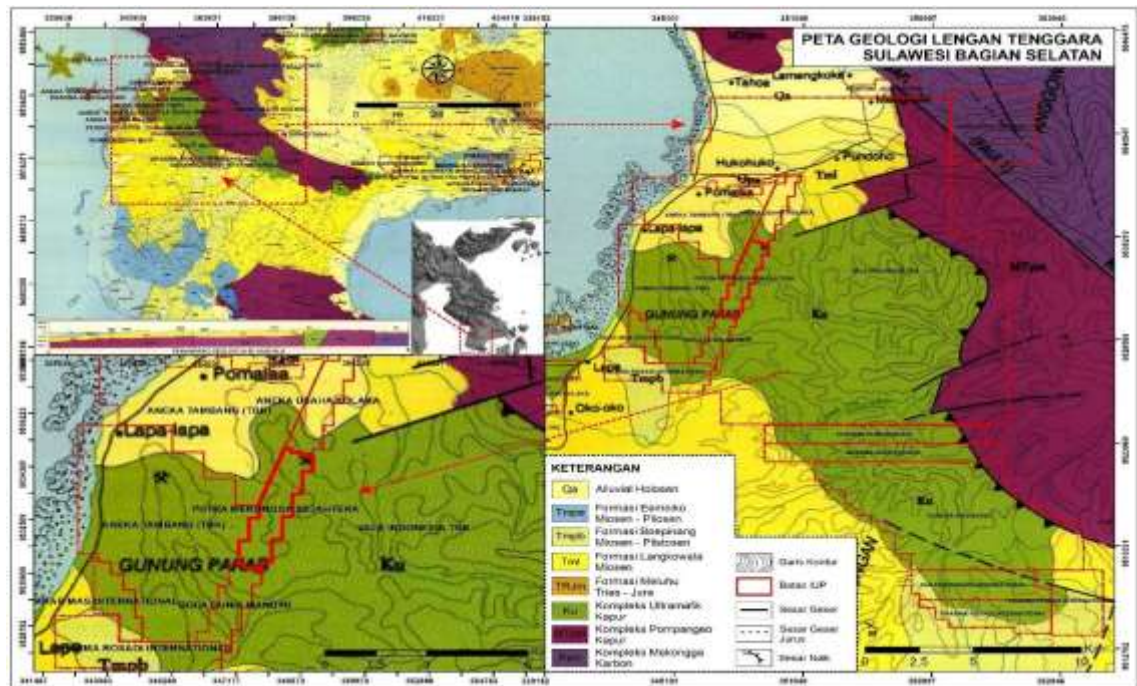
Satuan morfologi karst melampar di beberapa tempat secara terpisah. Satuan ini dicirikan perbukitan kecil dengan sungai di bawah permukaan tanah. Sebagian besar batuan penyusun satuan morfologi ini didominasi oleh batugamping berumur Paleogen dan selebihnya batugamping Mesozoikum. Batugamping ini merupakan bagian Formasi Eemoiko, Formasi Laonti, Formasi Buara dan bagian atas dari Formasi Meluhu. Sebagian dari batugamping penyusun satuan morfologi ini sudah berubah menjadi marmer. Perubahan ini erat hubungannya dengan pensesar-naikkan ofiolit ke atas kepingan benua.

Menurut peta geologi regional Lembar Lasusua, Lembar Bungku dan Lembar Malili bahwa daerah operasi produksi didominasi oleh kelompok batuan ultramafik yang terdiri dari atas dunit, peridotit, harzburgit, piroksinit dan serpentinit yang disertai retas gabro dan diduga berumur kapur. Kelompok batuan ultramafik tersebut tertindih secara tidak selaras oleh sedimen kalsilitit dan bersisipan dengan napal serpih, rijang dari formasi selaras di endapan batuan sedimen laut berupa batugamping kalsilitit dan oolite Formasi Selodik yang berumur Eosen. Diatas Formasi Salodik secara tidak selaras diendapkan batuan sedimen yang terdiri dari konglomerat batupasir lempung Formasi Pandua yang berumur Pliosen. Pada saat Pleistosen diendapkan batuan sedimen yang terdiri dari batupasir dan batulempung Formasi Alangga selanjutnya yang paling akhir di endapkan aluvial.

Struktur geologi yang berkembang di Langgikima sangat kompleks diantaranya Sesar Sorong, Sesar Kolaka, Sesar Lawanaga yang telah mengalami pengangkatan keseluruhan kompleks batuan ultramafik dan semakin keatas batuannya berumur lebih muda seperti yang terlihat hingga sekarang. Berdasarkan lingkungan tektonik regional pada bagian Timur Sulawesi terdiri dari dua melange subduksi (*subduction melange*) yang masing-masing terangkat pada kala sebelum dan sesudah Miosen. Melange sebelum Miosen berada dibagian selatan dan barat Sulawesi yang terdiri dari batuan sekis dan bongkah-bongkah batuan ultramafik. Batuan ini telah mengalami pelapukan kuat berupa laterit nikel dan membentuk Morfologi Pelateu.

Endapan bijih nikel laterit tersebar terutama di sepanjang pinggiran pantai seperti yang terdapat di daerah Pomalaa. Di bagian selatan, Melange telah mengalami pengangkatan seperti di daerah Bahudopi dan Sorowako yang berada pada elevasi lebih dari 600 MDPL. Didaerah lainnya, yang mengalami depresi membentuk Morfologi Pelateu mengandung endapan laterit dan sebagian lagi membentuk *iron cap* khususnya di daerah sekitar Danau Towuti, Danau Matano dan Danau Mahalona.

Endapan nikel laterit Sulawesi lain yang berkembang dengan baik yaitu di Semenanjung Tenggara yang berasal dari hasil pelapukan batuan ultramafik peroditit. Endapan laterit nikel ekonomi berasal dari batuan induk yang kaya akan kandungan mineral *olivine* dan orto piroksen. Faktor lain yang berpengaruh adalah adanya *control* aktifitas pensesaran dan pengkekaratan yang cukup intensif dan bentuk bentang dengan morfologi yang relatif landai dengan kemiringan laeng cukup rendah. Menurut peta geologi yang diterbitkan oleh P3G Bandung dipaparkan bahwa batuan-batuan yang berumur Paleogen dan Mesozoikum lebih terkekarkan kuat yang secara teoritis akan menyebabkan terjadinya penetrasi air hujan lebih intensif ke dalam batuan sehingga akan menyebabkan pelapukan kimia lebih intensif. Peta Geologi Lembar Kolaka di wilayah IUP PT Putra Mekongga Sejahtera, dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Peta Geologi Lembar Kolaka (dimodifikasi oleh Raivel dan Firman, 2021 dari Simandjuntak dkk.,1993).

## 2.2 Endapan Nikel Laterit

### 2.2.1 Nikel Laterit

Nikel (Ni) merupakan logam berwarna putih keperakan yang keras dan tahan korosi. Logam ini termasuk material yang cukup reaktif terhadap asam dan lambat bereaksi terhadap udara pada suhu dan tekanan normal. Logam ini termasuk material yang cukup stabil dan tidak dapat bereaksi terhadap oksida, sehingga sering digunakan sebagai koin dan pelapis dalam bentuk paduan. Dalam dunia industri, nikel adalah salah satu logam yang paling penting dan memiliki banyak aplikasi (Astuti, 2016).

Deposit nikel di dunia dapat diklasifikasikan dalam dua kelompok, yaitu bijih sulfida dan bijih laterit (oksida dan silikat). Sebesar 72% cadangan nikel dunia merupakan nikel laterit dan baru 42% dari cadangan tersebut yang diproduksi. Meskipun 72% dari tambang nikel berbasis bijih laterit, 60% dari produksi primer nikel berasal dari bijih sulfida. Bijih nikel laterit banyak ditemukan di belahan bumi yang memiliki iklim tropis atau subtropis yang terdiri dari hasil pelapukan batuan ultramafik

yang mengandung zat besi dan magnesium kadar tinggi. Deposit laterit berkadar antara 1,0-1,5%. Endapan nikel laterit dengan rata-rata kadar nikel 0,6-1,5% dengan tonase yang jauh lebih besar (Yildirim dkk., 2012).

Nikel laterit merupakan salah satu mineral logam hasil dari proses pelapukan kimia batuan ultramafik yang mengakibatkan pengkayaan unsur Ni, Fe, Mn, dan Co secara residual dan sekunder (Syafrizal *et al.*, 2011; Burger, 1996). Nikel laterit dicirikan oleh adanya logam oksida yang berwarna coklat kemerahan mengandung Ni dan Fe (Cahit *et al.*, 2017). Salah satu faktor yang mempengaruhi pembentukan endapan nikel laterit adalah morfologi, batuan asal dan tingkat pelapukan (Kurniadi *et al.*, 2017). Tingkat pelapukan yang tinggi sangat berperan terhadap proses lateritisasi (Tonggiroh *et al.*, 2012). Proses terbentuknya nikel laterit dimulai dari proses pelapukan yang intensif pada batuan peridotit (Sundari dan Woro, 2012), selanjutnya infiltrasi air hujan masuk ke dalam zona retakan batuan dan akan melarutkan mineral yang mudah larut pada batuan dasar. Mineral dengan berat jenis tinggi akan tertinggal di permukaan sehingga mengalami pengkayaan residu seperti unsur Ca, Mg, dan Si. Mineral lain yang bersifat mobile akan terlarutkan ke bawah dan membentuk suatu zona akumulasi dengan pengkayaan (supergen) seperti Ni, Mn, dan Co (Golightly, 1979).

Nikel laterit merupakan endapan mineral yang berasal dari proses pelapukan kimiawi dan pengayaan supergen dengan kondisi suhu cukup tinggi berkisar antara 27 – 31°C, curah hujan yang cukup tinggi, dan dikontrol oleh pergerakan fluktuatif muka air tanah pada saat pembentukannya (Wardhani dan Yuwanto, 2021). Nikel laterit dicirikan oleh adanya logam oksida berwarna coklat kemerahan yang mengandung Ni dan Fe (Cahit *et al.*, 2017). Endapan nikel laterit berasal dari batuan beku ultramafik yang berada di permukaan bumi dan banyak di temukan pada endapan hasil pelapukan batuan beku peridotit yang kaya akan mineral olivin, piroksin dan hornblend, dunit yang

kaya akan mineral olivin, piroksinit yang kaya akan mineral ortopiroksin dan klinopiroksin, serta serpentinit yang kaya akan mineral serpentin (Kusuma dkk., 2019).

Proses pelapukan pada batuan peridotit menyebabkan unsur-unsur dengan mobilitas rendah sampai *immobile* seperti Ni, Fe dan Co yang mengalami pengayaan secara residual dan sekunder. Perilaku berbagai unsur selama proses laterisasi pada dasarnya dikendalikan oleh dua faktor yaitu sifat kimia tertentu dari unsur itu sendiri (geokimia) dan kondisi lingkungan yang berlaku (suhu, curah hujan, kondisi batuan, dan kondisi pH). Peranan unsur pada pelapukan laterit dapat dilihat pada Tabel 2.1 (Burger, 1996; Ahmad, 2009).

Tabel 2.1 Peran beberapa unsur selama pelapukan laterit (Ahmad, 2009).

<i>Element</i>	<i>Exists in the ultramafics as</i>	<i>Role during lateritic weathering</i>
Ca	Cpx > Opx > Oliv	<i>Highly mobile. Leached away</i>
Na	<i>Very Little</i>	<i>Highly mobile. Leached away</i>
Mg	Oliv > Opx > Cpx	<i>Highly mobile. Mostly leached away. Some stays behind as clay minerals</i>
K	<i>Very Little</i>	<i>Highly mobile. Mostly leached away. Some stays behind as clay minerals</i>
Si	Opx > Cpx > Oliv	<i>Highly mobile. Mostly leached away. Some stays behind as clay minerals and silica boxwork</i>
Mn	Oliv > Opx > Cpx	<i>Semi-mobile. Forms oxide (pyrolusite) and hydroxides (manganite, pyrochroite &amp; psilomelane)</i>
Co	Oliv > Opx > Cpx	<i>Semi-mobile. Follows manganese</i>
Ni	Oliv > Opx > Cpx	<i>Semi-mobile. Forms nickel serpentine, nickel talc, nickel chlorite and nickel clays</i>
Al	Cpx > Opx > Oliv	<i>Non-mobile. Stays behind as boehmite, bauxite &amp; gibbsite</i>
Cr	Cpx > Opx > Oliv	<i>Non-mobile. Stays behind as chromite</i>
Fe	Oliv > Opx > Cpx	<i>Non-mobile. Stays behind as oxides (hematite maghemite) and hydroxides (turgite, goethite, hydrogoethite, limonite, ferrihydrate, xanthosiderite &amp; esmeraldaite)</i>

## 2.2.2 Tipe endapan nikel laterit

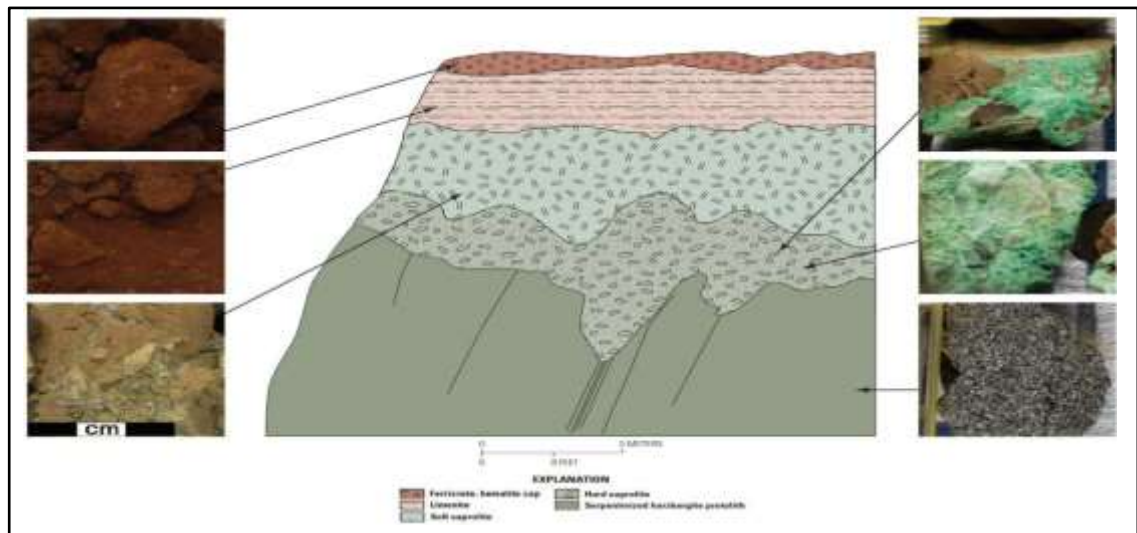
Nikel laterit memiliki berbagai jenis klasifikasi, berdasarkan cirinya seperti: alterasi batuan dasar, iklim, aliran, sejarah geomorfologi, dan komposisi. Penelitian ini menggunakan klasifikasi berdasarkan mineralogi, yaitu dominasi Ni berdasarkan lapisan (Bosio, *et al.*, 1975; Butt & Zeegers, 1992; Brand, *et al.*, 1998; Gleeson, *et al.*, 2003; Butt, 2005; Watling, *et al.*, 2011; Marsh & Anderson, 2011). Karakteristik berbagai tipe endapan nikel laterit dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 *Summary* karakteristik berbagai tipe endapan Ni Laterit (Butt, 2005).

No	Karakteristik	Tipe		
		<i>Hydrous Mg Silicate</i>	<i>Clay Silicate</i>	<i>Oxide</i>
1	Kadar Ni	<i>1.8-2.5% Ni</i>	<i>1.0-1.5% Ni</i>	<i>1.0-1.6% Ni</i>
2	Mineralogi	<i>hydrous Mg-Ni silicates in the lower saprolite. The silicates are mainly nickelian varieties of serpentinite, talc, chlorite and sepiolite, many of which are poorly defined and are known informally as "garnierite".</i>	<i>Ni-rich smectites such as nontronite and saponite, commonly in the mid to upper saprolite and pedolith. Nickel in these minerals is fixed between structural layers or substitutes for ferric iron in the octahedral layer, with concentrations up to 4%.</i>	<i>iron oxyhydroxides, principally goethite forming the mid- to upper saprolite and extending to the pedolith. Nickel is hosted mainly in goethite, by substitution for iron and/or by adsorption.</i>
3	Iklim	<i>Humid savanna – rainforest</i>	<i>Humid savanna; possibly formed or modified in semi-arid climates</i>	<i>Savanna; modified in semi-arid climates</i>
4	Relief	<i>Moderate</i>	<i>Moderate to low</i>	<i>Moderate to low</i>
5	Tektonik	<i>Promoted by uplift</i>	<i>Inhibited by uplift.</i>	<i>Promoted by uplift</i>
6	Struktur Primer	<i>Promoted by increased weathering and Ni enrichment along open fractures</i>	<i>Enrichment on some fractures. Possibly promoted where faults impede drainage.</i>	<i>Promoted by increased weathering and Ni enrichment along open fractures</i>

7	Bedrock	Peridotite>dunite.	Peridotite>>dunite	Dunite and peridotite. Component of all deposits
---	---------	--------------------	--------------------	--

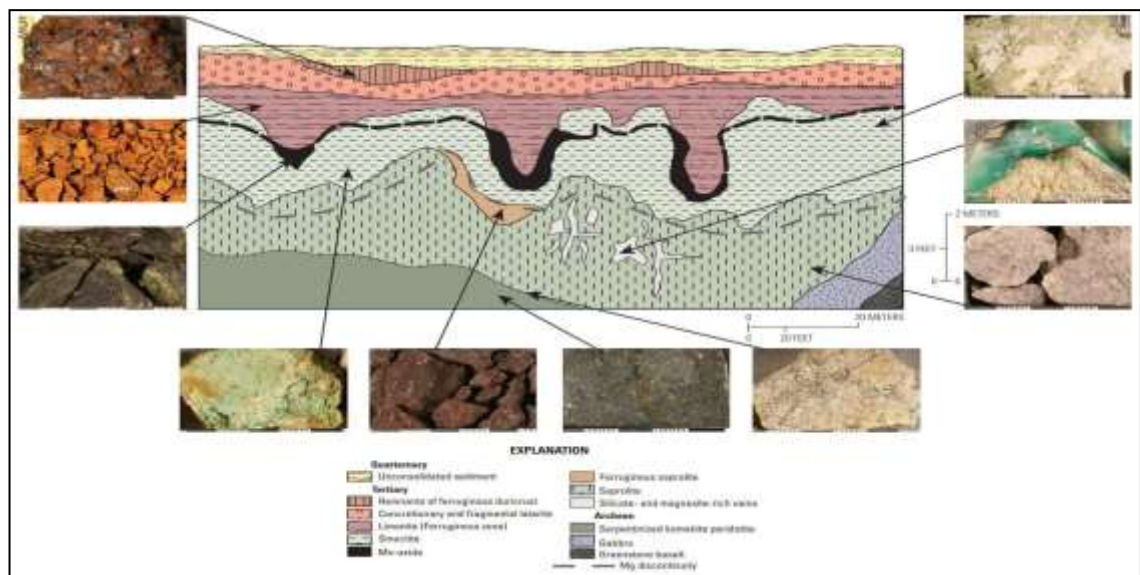
Endapan Ni silika, didominasi oleh *hydrated Mg-Ni silicates* (seperti *garnierite*), biasanya terdapat di lapisan saprolit (Golightly, 1981; Gleeson *et al.*, 2003). Endapan *silicate Ni*, didominasi oleh lempung smektit (seperti nontronit), biasanya terdapat di bagian atas saprolit atau pedolit (Golightly, 1981; Gleeson *et al.*, 2003). Endapan Murrin Murrin (Australia Barat) memiliki sumberdaya Ni sebesar 334 Mtdan cadangan 145 Mt, kadar Ni rata-rata 1,07% pada zona lempung (Elias, 2006; Marsh *and* Anderson, 2011). Endapan Ni laterit tipe *clay* yang berada di Murrin Murrin terdiri atas lima zona yaitu: *unweathered country rock* pada bagian dasar, saprolit, smektit, limonit (lebih dikenal dengan istilah *ferruginous zone*), dan *colluvium* pada bagian atas (Wells *and* Butt, 2006; Marsh *and* Anderson, 2011). Profil endapan *hydrous magnesium silicate* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



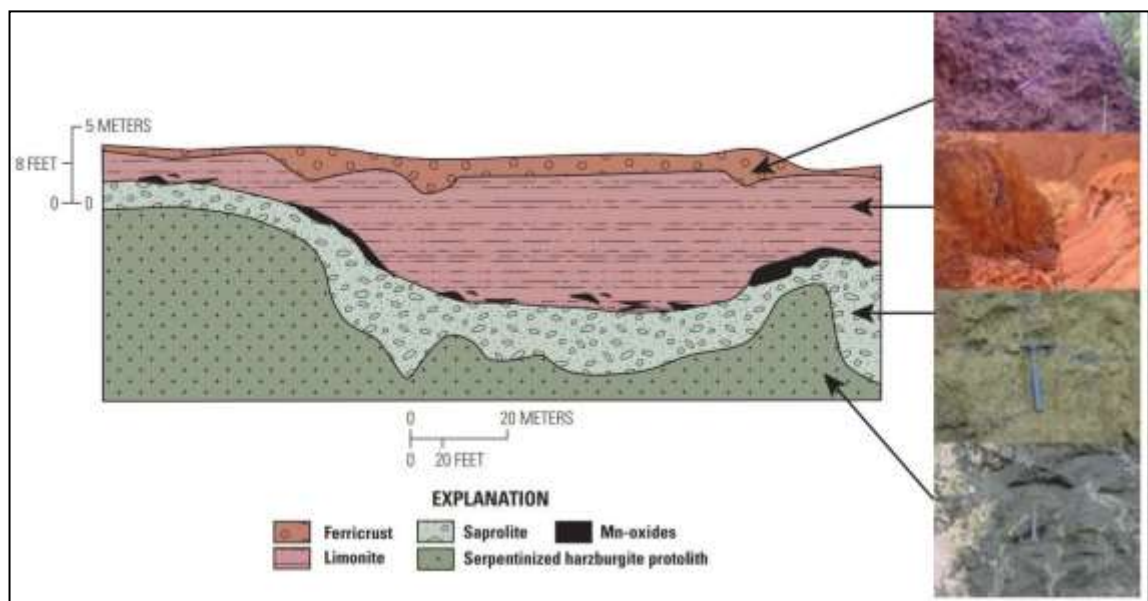
Gambar 2.2 Penampang profil endapan *hydrous magnesium silicate* (Laznicka, 1985; Marsh *et al.*, 2013).

Endapan oksida, didominasi oleh *Fe oxyhydroxides* (seperti goetit), membentuk lapisan di antara pedolit dan saprolit (Golightly, 1981; Gleeson *et al.*, 2003). Endapan

Ni laterit di Moa Bay, Cuba adalah contoh dari tipe endapan oksida (Gleeson, *et al.*, 2003). Endapan ini memiliki kadar Ni sebesar 1,27% (Freyssinet, *et al.*, 2005). Endapan tipe oksida ini terbentuk dari proses pelapukan dari batuan peridotit (harzburgit) yang terserpentinisasi dan dunit pada sabuk Mayari-Baracoa ofiolit (Roqué-Rosell *et al.*, 2010). Penampang profil endapan lempung silika dan endapan nikel oksida dapat dilihat pada Gambar 2.3 dan 2.4.



Gambar 2.3 Penampang profil endapan lempung silika di Murrin Murrin, Australia (Laznicka, 1985; Marsh *et al.*, 2013).



Gambar 2.4 Penampang profil endapan oksida di Moa Bay, Cuba (Laznicka, 1985; Marsh *et al.*, 2013).



Profil endapan Ni laterit di Moa Bay terdiri dari *ferricrete cap* berada di atas lapisan limonit yang mengandung goetit, maghemit, hematit, dan gipsit, serta *Mn-Ni-Co oxyhydroxides*. Lapisan limonit berada di atas lapisan saprolite yang terdiri dari lizardit, goethite, magnetit, maghemite, kromit dan *hydrous Mg-silicates*. Lapisan paling bawah adalah protolit yang merupakan peridotit terserpentinisasi dan harzburgit (Roqué-Rosell *et al.*, 2010; Marsh *and* Anderson, 2011).

### **2.3 Genesis Nikel Laterit**

Endapan nikel laterit merupakan salah satu bahan galian yang sangat ekonomis jika dijumpai dalam cadangan yang besar dengan kadar yang tinggi atau *high grade* (Raivel dan Firman, 2020). Endapan nikel 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 nikel sulfida yang ditemukan pada kedalaman ratusan meter di bawah permukaan tanah, nikel laterit terdapat pada kedalaman yang relatif lebih dangkal, yaitu sekitar 15-20 meter di bawah permukaan tanah. Endapan nikel 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. Proses pembentukan nikel laterit merupakan proses dekomposisi sekunder endapan nikel sulfida yang diawali dari pelapukan batuan ultrabasa seperti harzburgit, dunit, dan piroksenit. Dalam deret Bowen, batuan ini banyak mengandung olivin, piroksen, magnesium silikat dan besi. Mineral-mineral tersebut tidak stabil dan mudah mengalami pelapukan. Media transportasi nikel yang terpenting adalah air. Air tanah kaya CO<sub>2</sub> berasal dari udara dan tumbuhan akan

menguraikan mineral yang terkandung dalam batuan ultrabasa tersebut. Kandungan olivin, piroksin, magnesium silikat, besi, nikel dan silika akan terurai dan membentuk suatu larutan.

Endapan ini akan terakumulasi dekat ke permukaan tanah, sedangkan magnesium, nikel dan silika akan tetap tertinggal di dalam larutan dan bergerak turun selama suplai air yang masuk ke dalam tanah terus berlangsung. Rangkaian proses ini merupakan proses pelapukan dan pelindian. Unsur Ni merupakan unsur tambahan di dalam batuan ultrabasa. Sebelum proses pelindian berlangsung, unsur Ni berada dalam ikatan kelompok silikat terutama olivin dan serpentin. Rumus kimia kelompok silikat adalah  $M_2-3SiO_2O_5(OH)_4$ , dengan variabel  $M$  merupakan unsur-unsur seperti Cr, Mg, Fe, Ni, Al, Zn atau Mn atau dapat juga merupakan kombinasinya (Atmadja, 1974).

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 (Atmadja, 1974).

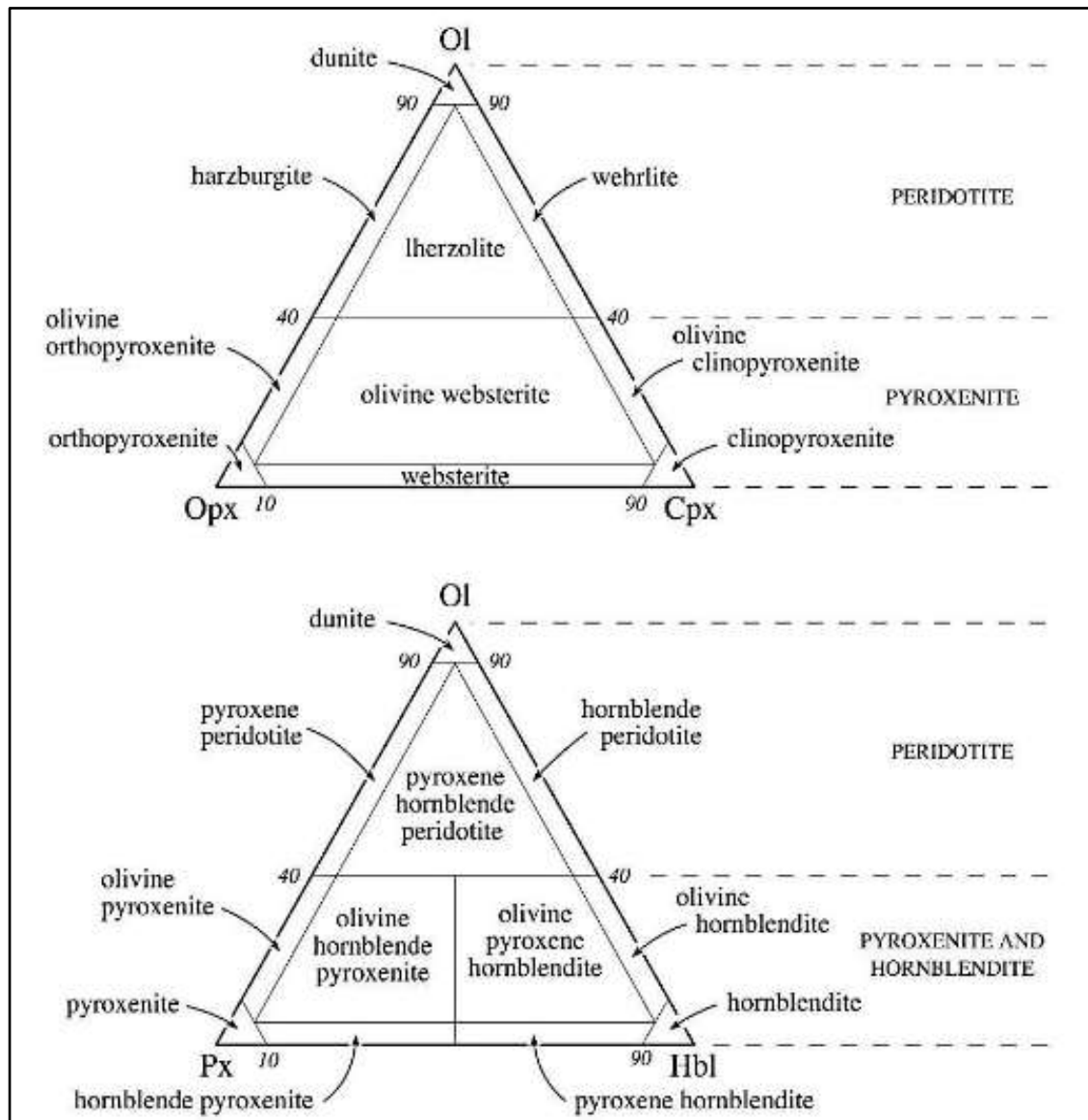
Pembentukan nikel laterit dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya adalah (Sutisna, 2006):

## 1. Geologi batuan dasar

Adanya batuan asal merupakan syarat utama untuk terbentuknya endapan nikel laterit. Batuan asal yang berperan penting dalam pembentukan nikel laterit berupa batuan ultramafik seperti peridotit dan dunit. Batuan ultramafik mengandung mineral-mineral yang kurang stabil dan mudah melapuk seperti olivin dan piroksin. Oleh karena itu, batuan ultramafik mempunyai komponen-komponen yang mudah larut dan memberikan lingkungan pengendapan yang baik untuk nikel. Batuan induk endapan nikel laterit adalah batuan ultramafik.

Batuan ultramafik adalah batuan yang kaya mineral *ferromagnesian* tanpa memperhatikan kandungan silika, feldspar, dan feldspatoid. Batuan ultramafik merupakan batuan yang kaya mineral olivin, piroksin, amfibol, dan biotit, serta memiliki indeks warna lebih dari 70%. Klasifikasi batuan ultramafik seperti pada Gambar 2.5. Batuan ultramafik terjadi dalam berbagai cara, sebagian besar berasal dari diferensiasi magma pada magma basaltik yang merupakan batuan plutonik berupa tubuh *sill*, *stock*, dan *dyke* serta terbentuk juga sebagai inklusi dalam aliran lava basaltik. Keterdapatan mereka di beberapa posisi tersebut merupakan awal terbentuknya rekristalisasi magma (Ahmad, 2006).

Alterasi batuan ultramafik yaitu serpentinisasi, mengubah mineral-mineral batuan ultramafik sehingga teksturnya ikut berubah. Mineral yang berubah menjadi serpentin terdiri dari olivin dan ortopiroksin. Mineral olivin tersebut berubah menjadi mineral serpentin pada suhu berkisar dari 200°C – 500°C, namun pada suhu yang lebih tinggi yaitu 500°C – 625°C olivin berubah menjadi talk. Pada suhu 625°C – 800°C olivin berubah menjadi enstatit dan kemudian *talk*, sedangkan pada suhu lebih dari 800°C olivin berubah menjadi enstatit (Ahmad, 2006). Klasifikasi batuan ultramafik dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Klasifikasi batuan ultramafik berdasarkan komposisi mineral olivin, ortopiroksin (opx), dan klinopiroksin (cpx), menurut Streckeisen (1974) dalam Le Maitre, 2002.

Adapun dalam melakukan pengamatan batuan beku, dapat digunakan beberapa klasifikasi untuk menentukan nama dan jenis dari batuan beku yang akan diidentifikasi. Salah satu klasifikasi yang seringkali digunakan dalam mengidentifikasi batuan beku adalah klasifikasi Travis (1955). Klasifikasi batuan beku oleh Dr. Russell B. Travis pada buku yang berjudul *Quarterly of The Colorado School of Mines* Vol. 50 Nomor 1. Pada tahun 1955 dapat dilihat pada Gambar 2.6.



b. Struktur geologi

Struktur rekahan, sesar, dan zona geser pada batuan dasar dan *regolith* dapat mempengaruhi ketebalan dan jenis endapan nikel laterit. Sebagian besar, efek ini bersifat pasif dengan struktur yang sudah ada sebelumnya dan mempengaruhi drainase karakteristik baik dengan membentuk hambatan aliran air atau lebih umum dengan meningkatkan permeabilitas pelapukan yang lebih dalam dan konsentrasi kecenderungan unsur nikel di sepanjang zona rekahan. Demikian pula, pelapukan pada sesar-sesar yang ada di batuan dasar dan zona geser yang rendah di *regolith* yang terbentuk oleh keruntuhan lereng dapat menjadi fokus konsentrasi unsur nikel.

c. 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.

d. Senyawa kimia dan vegetasi

Senyawa kimia merupakan faktor yang mempercepat proses pelapukan, seperti air tanah mengandung CO<sub>2</sub> 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.

e. Topografi

Topografi setempat sangat berpengaruh terhadap sirkulasi air dan senyawa lain. Topografi dengan daerah landai, air akan bergerak perlahan sehingga dapat menembus batuan lebih dalam melalui rekahan atau pori batuan. Endapan mengandung nikel akan terakumulasi pada daerah landai 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. Faktor-faktor tersebut sangat terkait satu sama lain. Saat batuan keluar ke permukaan, maka secara bertahap akan mengalami dekomposisi. Proses kimia dan mekanik yang disebabkan oleh udara, air dan temperatur akan menghancurkan batuan tersebut menjadi tanah dan lempung (Sutisna, 2006).

## 2.4 Profil 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 kaolinitik serta Fe dan Al oksida/hidroksida. Endapan laterit pada umumnya menampilkan bidang perlapisan yang baik sebagai hasil reaksi antara air hujan yang masuk ke dalam formasi dan kelembapan tanah yang naik ke atas permukaan. Laterit 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 (Maulana, 2017).

Laterit merupakan sumber dari beberapa mineral ekonomis diantaranya bauksit dan nikel (Ni), mangan (Mn), tembaga (Cu), emas (Au) dan *platinum group element* (PGE). Bagian paling bawah dari profil laterit disebut dengan zona saprolite yang merupakan zona pelapukan tinggi dimana tekstur primer dan fabrik dari batuan asalnya masih dapat dilihat. Akibat fluida yang bersifat oksida dan asam, maka bagian paling bawah dari zona ini dicirikan dengan tidak stabilnya sulfida 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 *ferromagnesia*, sementara Si dan Al akan tetap tinggal pada mineral lempung (kaolinite dan *halloysite*) (Maulana, 2017).

Endapan nikel laterit merupakan hasil pelapukan lanjut dari batuan ultrabasa pembawa Ni-Silikat. Umumnya terdapat pada daerah dengan iklim tropis sampai dengan subtropis. Pengaruh iklim tropis di Indonesia mengakibatkan proses pelapukan yang intensif, sehingga beberapa daerah di Indonesia bagian timur memiliki endapan nikel laterit. Menurut Vinogradov, batuan ultrabasa rata-rata mempunyai kandungan nikel sebesar 0,2%. Unsur nikel tersebut terdapat dalam kisi-kisi kristal mineral olivin dan piroksin, sebagai hasil substitusi terhadap atom Fe dan Mg. Proses terjadinya substitusi antara Ni, Fe dan Mg dapat diterangkan karena radius ion dan muatan ion yang hampir bersamaan di antara unsur-unsur tersebut. Proses serpentinisasi yang terjadi pada batuan peridotit akibat pengaruh larutan *hydrothermal*, akan mengubah batuan peridotit menjadi batuan serpentininit atau batuan serpentininit peroditit. Sedangkan proses kimia dan fisika dari udara, air serta pergantian panas dingin yang bekerja kontinu, menyebabkan disintegrasi dan dekomposisi pada batuan induk (Achmad, 2005).



Berdasarkan proses pembentukannya, endapan nikel laterit terbagi menjadi beberapa zona dengan ketebalan dan kadar yang bervariasi. Daerah yang mempunyai intensitas pengkekarannya yang intensif kemungkinannya akan mempunyai profil lebih tebal dibandingkan dengan yang pengkekarannya kurang begitu intensif. Perbedaan intensitas inilah yang menyebabkan ketidakaturan dari distribusi pengayaan unsur-unsur pada profil laterit, karena pembentukan endapan laterit sangat tergantung pada faktor-faktor batuan dasar (*bedrock*), laju pelapukan, struktur geologi, iklim, topografi, reagen-reagen kimia dan vegetasi, serta waktu (Syafrizal dkk., 2011).

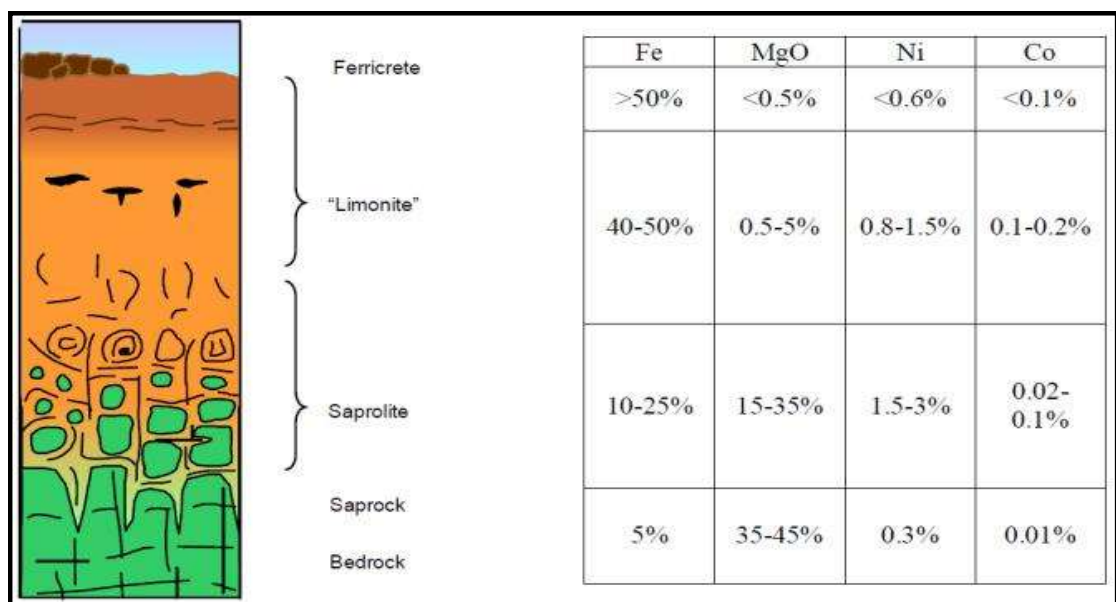
Geologi Regional dari Sulawesi terletak pada pertemuan tiga lempeng besar yaitu Eurasia, Pasifik, dan Indoaustralia serta sejumlah lempeng lebih kecil (Lempeng Filipina) yang menyebabkan kondisi tektoniknya sangat kompleks. Kumpulan batuan dari busur kepulauan, batuan bancuh, ofiolit, dan bongkah dari mikrokontinen terbawa bersama proses penunjaman, tubrukan, serta proses tektonik lainnya (Leeuwen dkk., 1994).

Pengaruh iklim tropis di Indonesia mengakibatkan proses pelapukan yang intensif, salah satunya wilayah Sulawesi Tenggara merupakan daerah dengan sumberdaya bijih nikel yang cukup besar. Hal ini didukung oleh pecahan bentukan geologi *metamorphic belt* di Timur dan Tenggara. Selain itu kondisi ini juga tidak terlepas oleh iklim, reaksi kimia, struktur, dan topografi Sulawesi yang cocok terhadap pembentukan nikel laterit (Syafrizal dkk., 2011).

Pembentukan nikel laterit yang terdiri atas empat horizon yaitu (Elias , 2002):

- a. Tudung besi (*iron cap*) yang merupakan campuran goetit 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.

- b. 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 goetit (sebagai larutan padat), sebagian lagi berada dalam oksida mangan dan litioforit. Dalam lapisan ini juga kadang-kadang ditemukan talk, tremolit, kromiferus, kuarsa, gipsit dan maghemit.
- c. 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.
- d. Batuan dasar (*bedrock*). 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 2.7 berikut merupakan gambar dari profil nikel laterit.



Gambar 2.7 Profil nikel laterit (Elias, 2002).

Berdasarkan tipe mineral yang dominan, bijih nikel laterit di dunia dapat diklasifikasikan menjadi 2 (dua) tipe, yaitu (Mubarok, 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 smektit pada bagian atas lapisan bijih. Laterit silikat, terbentuk pada bagian yang lebih dalam dan mungkin dilapisi oleh laterit oksida. Sebagian besar terdiri atas Mg-Ni silikat (*serpentin, garnierite*).

## **2.5 Mineralogi dan Geokimia Endapan Nikel Laterit**

### **2.5.1 Mineralogi Endapan Nikel Laterit**

Mineral-mineral primer pada batuan ultramafik seperti mineral olivin dan piroksin. Mineral olivin dapat menghasilkan mineral sekunder seperti mineral krisotil, magnetit, saponit, nontronit, silika amorf, dan goetit, sedangkan mineral piroksin sebagai mineral primer akan menghasilkan mineral sekunder seperti mineral talk, smektit, dan goetit. Kemudian mineral serpentin sebagai mineral primer akan menghasilkan mineral sekunder seperti mineral smektit dan goetit. Rangkaian pembentukan mineral sekunder selama proses pembentukan laterit berbeda dengan mineral primer. Pelapukan yang terjadi pada olivin dan piroksin lebih kompleks daripada serpentin. Hal ini disebabkan tekstur serpentin yang lebih halus dan komposisi kimia yang lebih homogen dari pada olivin dan piroksin (Tardy, 1997).

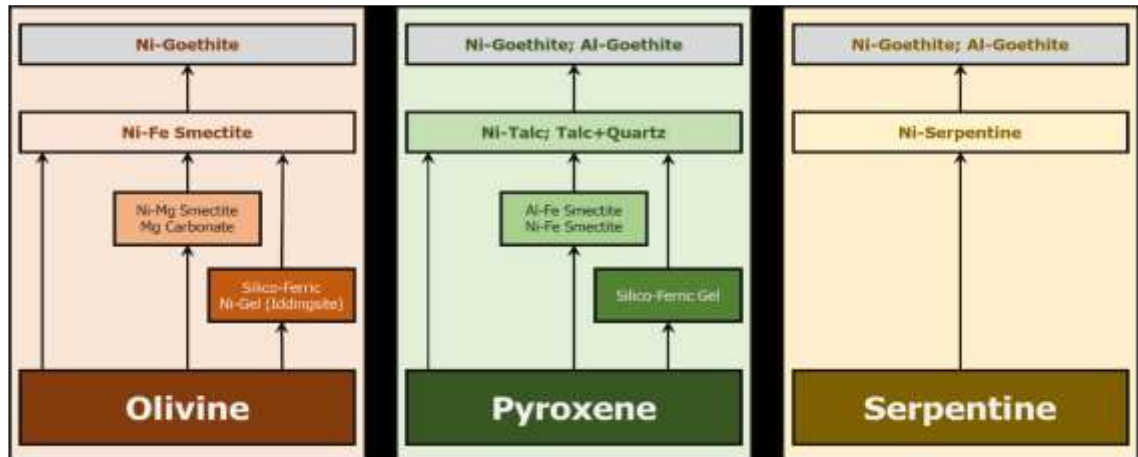
Secara umum, mineral-mineral primer pada batuan ultramafik (*bedrock*) dapat menghasilkan

mineral sekunder, sebagai berikut (Nahon *et al.*, 1990):

1. Olivin menjadi krisotil, magnetit, saponit, nontronit, silika, amorf dan goetit.
2. Piroksin menjadi *talk*, smektit dan goetit.

3. Serpentin menjadi smektit dan goetit.

Mineral primer pada batuan ultramafik yang menghasilkan mineral sekunder dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Skema transformasi mineral akibat pelapukan batuan dasar (batuan ultramafik) (Nahon *et al.*, 1992).

Pelapukan pada batuan ultramafik menyebabkan unsur dan senyawa yang terdapat dalam batuan yang memiliki mobilitas tinggi akan terendapkan pada bagian bawah endapan laterit, sedangkan unsur dan senyawa yang memiliki mobilitas rendah akan mengalami pengkayaan residual dan terendapkan pada bagian atas endapan laterit. Hal ini akan mempengaruhi komposisi mineralogi dan kelimpahan setiap unsur selama proses pelapukan endapan laterit (Ahmad, 2008).

### 2.5.2 Geokimia Endapan Nikel Laterit

Profil geokimia endapan nikel laterit merupakan gambaran dari suatu kondisi bahwa perilaku atau kecenderungan pola kelimpahan unsur ke arah bawah permukaan yang dipengaruhi oleh proses lateritisasi. Perilaku tersebut dipengaruhi oleh mobilitas unsur dan senyawa pada profil nikel laterit yang diketahui dari tingkat unsur dan senyawa tertentu yang mengalami perpindahan akibat aliran air tanah. Perilaku yang terjadi selama proses lateritisasi berlangsung pada proses pelindian, proses pengayaan supergen, serta residual unsur (Ahmad, 2008).

Analisis geokimia banyak digunakan untuk mengetahui kadar unsur dalam bentuk oksida mayor dan unsur tunggal seperti Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Mn, Fe dan juga menganalisis unsur-unsur minor dan unsur jejak, di antaranya Rb, Sr, Y, Nb, Zr, Cr, Ni, Cu, Zn, Ga, Ba, Pb, Th, La, Ce, Nd, Sm (Wilson, 1989). Lebih dari 99 % batuan terbentuk oleh 11 elemen senyawa utama oksida di antaranya SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MnO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, dan P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Best, 2003). Masing-masing zona profil nikel laterit ini mempunyai komposisi kimia unsur dan senyawa mayor dengan kandungan lebih besar dari 5% serta unsur dan senyawa minor dengan kandungan yang umumnya kurang dari 3%. Senyawa kimia mayor berupa MgO, FeO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> serta unsur dan senyawa minor berupa Ni, Co, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, CaO (Ahmad, 2005).

Selama proses pelapukan berlangsung, beberapa elemen akan tercuci dan elemen lainnya akan terkonsentrasi melalui pengayaan sekunder atau residual. Sebuah pengukuran *mobile element* pada endapan Ni laterit melalui tingkat perpindahan elemen terhadap aliran air. Berikut tabel 2.3 merupakan tabel klasifikasi *mobile element* pada endapan Ni laterit.

Tabel 2.3 Klasifikasi *mobile element* pada endapan Ni laterit (Ahmad, 2006)

<i>Mobile Element</i>	<i>Semi-Mobile Element</i>	<i>Non-Mobile Element</i>
Ca	Ni <sup>2+</sup>	Al
Na	Co <sup>2+</sup>	Fe
Mg	Cr <sup>3+</sup>	Cr
K	Mn <sup>2+</sup>	Ti
Si		Mn

## 2.6 Analisis Statistik Univariat dan Bivariat

Analisis statistik univariat merupakan analisis statistika deskriptif yang dilakukan pada unsur dan senyawa terhadap variabel tunggal dan penggambaran karakteristik

unsur dan senyawa dalam bentuk histogram. Analisis statistik bivariat berupa analisis korelasi yang digunakan untuk menentukan hubungan atau kekerabatan karakteristik distribusi unsur dan senyawa satu terhadap unsur dan senyawa lainnya. Analisis statistik univariat dan bivariat dilakukan untuk memperoleh gambaran perilaku sebaran unsur dan senyawa (Faisal dkk., 2020).

Analisis statistik univariat menggunakan analisis statistik deskriptif yang terdiri dari nilai statistik berupa nilai minimum, nilai maksimum, mean, median, modus, standar deviasi, dan koefisien variasi serta disajikan dalam bentuk tabel. Metode penelitian deskriptif adalah metode yang digunakan untuk mengetahui nilai variabel mandiri atau lebih tanpa membuat perbandingan atau menggabungkan antara variabel satu dengan yang lainnya. Analisis bivariat berupa asosiatif yang bertujuan untuk membagi unsur dan senyawa ke dalam beberapa kelompok asosiasi unsur dan senyawa dengan cara melihat hubungan kekerabatan secara spasial. Penelitian asosiatif merupakan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui hubungan dua variabel atau lebih (Sugiyono, 2018). Salah satu metode yang digunakan pada analisis bivariat adalah metode koefisien korelasi Pearson. Metode koefisien korelasi Pearson bertujuan untuk menilai tingkat kekerabatan dari dua unsur dan senyawa atau lebih yang dinyatakan ke dalam koefisien Pearson (Ghazali dkk., 1986). Rumus dalam menentukan koefisien korelasi Pearson dinyatakan pada Persamaan 2.1 (Sugiyono, 2018).

$$r_{xy} = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \sqrt{n \sum Y^2 - (\sum Y)^2}} \dots\dots\dots 2.1$$

Keterangan:

- |           |  |            |                               |
|-----------|--|------------|-------------------------------|
| $r_{xy}$  | = Koefisien korelasi Pearson r         | $\sum X$   | = Jumlah nilai x              |
| n         | = Banyak pasangan nilai x dan y        | $\sum Y$   | = Jumlah nilai y              |
| $\sum XY$ | = Jumlah dari hasil kali nilai x dan y | $\sum X^2$ | = Jumlah dari kuadrat nilai x |
|           |  | $\sum Y^2$ | = Jumlah dari kuadrat nilai y |

Dalam penggunaan koefisien korelasi Pearson, perlu dilakukan dasar pengambilan keputusan sebelum melihat besaran nilai korelasi. Di mana, dasar pengambilan keputusan dilakukan dengan menguji signifikansi hubungan untuk kesalahan 0,05. Berikut ini merupakan rumus uji signifikansi koefisien korelasi Pearson dinyatakan pada Persamaan 2.2 (Sugiyono, 2018).

$$t = \frac{r \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad 2.2 \dots \dots \dots \quad 2.2$$

Keterangan:

- t = Nilai signifikansi
- r = Koefisien korelasi Pearson r
- n = Banyak data

Uji signifikansi memiliki taraf kesalahan sebesar 0,05 dengan ketentuan apabila nilai signifikansi kurang dari 0,05 maka berkorelasi, sedangkan jika nilai signifikansi lebih dari 0,05 maka tidak berkorelasi. Apabila hasil signifikansi yang didapatkan adalah 0,05 maka perlu dilakukan perbandingan koefisien korelasi Pearson terhadap nilai r tabel. Di mana, apabila nilai korelasi Pearson lebih dari nilai r tabel maka berkorelasi, dan apabila nilai korelasi Pearson kurang dari r tabel maka tidak berkorelasi (Sugiyono, 2018).

Berdasarkan interpretasi terhadap koefisien korelasi Pearson, Sugiyono (2018) membaginya dalam beberapa interval, seperti pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Interval koefisien korelasi Pearson r (Sugiyono, 2018).

Interval Koefisien Korelasi (r)	Tingkat Hubungan
0,80 – 1,000	Sangat Kuat
0,60 – 0,799	Kuat
0,40 – 0,599	Sedang
0,20 – 0,399	Rendah
0,00 – 0,199	Sangat Rendah