

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan cadangan nikel terbesar di dunia, dengan potensi cadangan mencapai 21 juta ton atau sekitar 24% dari total cadangan nikel dunia. Sulawesi Tenggara merupakan salah satu daerah penghasil nikel laterit terbesar. Nikel laterit merupakan salah satu sumber daya mineral yang memiliki nilai ekonomis tinggi dan berperan penting dalam industri global. PT. Vale Indonesia Tbk menjadi salah satu produsen nikel terbesar di Indonesia telah berkontribusi signifikan dalam pengembangan industri.

Endapan nikel laterit terbentuk melalui proses pelapukan batuan ultramafik dalam kurun waktu yang sangat panjang serta dibawah pengaruh iklim tropis dikarenakan iklim yang mendukung terjadinya pelapukan, selain topografi, drainase, tenaga tektonik, batuan induk, dan struktur geologi (Elias, 2002). Pada batuan ultramafik, mineral-mineral yang terlapukkan antara lain olivin, piroksin, dan amphibol. Menurut Golightly, 1979 (dalam Brand dkk, 1998) yang dimaksud dengan nikel laterit adalah hasil/produk dari proses lateritisasi dari batuan ultramafik yang kaya unsur Mg, dan mengandung unsur Ni sebesar 0,2-0,4%.

Pada proses penambangan bijih nikel laterit umumnya terdapat perbedaan kadar dari bijih nikel laterit, hal ini dikarenakan perbedaan karakteristik pada masing-masing endapan nikel laterit. Variabilitas maupun heterogenitas endapan laterit dapat diketahui dari sifat fisik, jenis laterit, litologi maupun kondisi morfologinya, juga perbedaan sifat kimia berupa persentase dari kandungan unsur-unsur mayor dan minor kimianya.

Dalam proses pengolahan bijih nikel, ukuran fraksi material merupakan salah satu parameter kunci yang dapat mempengaruhi efisiensi proses dan tingkat perolehan nikel. Supriyatna dkk. (2019) menyebutkan bahwa terdapat hubungan antara ukuran fraksi dengan kadar Ni. Semakin halus ukuran fraksi akan semakin tinggi kadar nikel dan sebaliknya, semakin kasar ukuran fraksi akan semakin rendah kadar nikelnya.

PT Vale Indonesia Tbk, dalam upayanya meningkatkan efisiensi produksi dan *recovery* nikel, perlu melakukan evaluasi mendalam terhadap karakteristik bijih nikel yang dimilikinya. Blok X, sebagai salah satu area penambangan aktif, memiliki variasi karakteristik endapan nikel yang menarik untuk diteliti. Pemahaman yang lebih baik tentang pengaruh ukuran fraksi terhadap pengayaan nikel pada zona limonit dan saprolit di blok ini akan memberikan informasi berharga untuk pengembangan strategi penambangan dan pengolahan yang lebih efisien.

Oleh karena itu, penulis tertarik menganalisis pengaruh ukuran fraksi terhadap pengayaan nikel pada zona limonit dan saprolit yang bertujuan untuk mengetahui hubungan ukuran fraksi sampel pada zona limonit dan saprolit dengan kadar Ni. Penentuan ukuran fraksi yang dianalisis dilakukan dengan proses fraksinasi pada Blok X, Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan.

1.1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Bagaimana nilai *recovery* nikel pada setiap fraksi ukuran serta bagaimana sebaran kadar unsur pada masing-masing fraksi di zona limonit dan saprolit?
2. Bagaimana pengaruh ukuran fraksi terhadap pengayaan nikel?
3. Faktor geologi lokal apa yang paling berpengaruh terhadap pembentukan fraksi batuan dan pengayaan kadar nikel, serta bagaimana arah dan signifikansi pengaruhnya?

1.1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya magang tugas akhir di PT. Vale Indonesia:

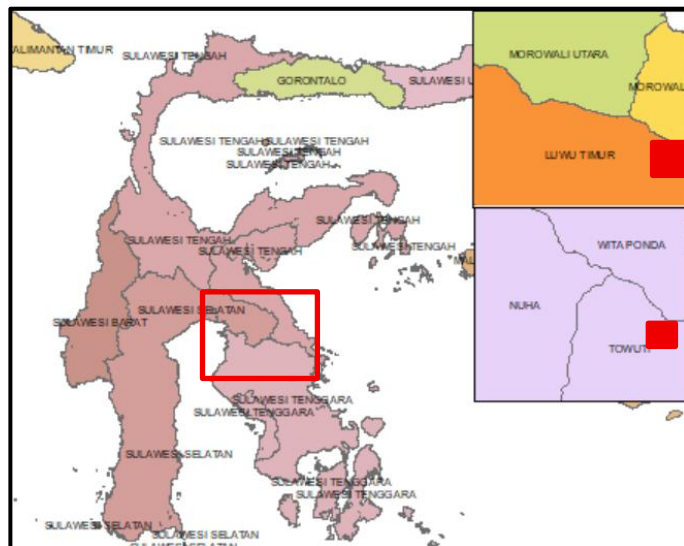
1. Mengetahui *recovery* nikel pada tiap fraksi dan kadar tiap unsur pada zona limonit dan saprolit.
2. Mengetahui pengaruh ukuran fraksi terhadap pengayaan nikel.
3. Mengidentifikasi pengaruh geologi lokal terhadap fraksi batuan dan pengayaan kadar nikel.

1.1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini hanya dilakukan di area Izin Usaha Pertambangan (IUP) milik PT Vale Indonesia Tbk pada Blok X. Penulis membatasi masalah yang akan diangkat yaitu menentukan nilai *recovery* nikel pada daerah penelitian menggunakan analisis geokimia.

1.1.4 Lokasi Penelitian dan Kesampaian Daerah

Secara administratif, lokasi penelitian berada di Kecamatan, Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. Lokasi ini dapat dijangkau menggunakan transportasi darat selama ± 13 jam dari Kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin ke Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur yang berjarak kurang lebih 606 kilometer.



Gambar 1. Peta Kesampaian Daerah Penelitian.

1.1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat pada penelitian ini yakni menambah wawasan dan referensi ilmiah terkait pembagian ukuran fraksi material, khususnya dalam penentuan kadar Ni dan nilai *recovery* pada tiap zona.

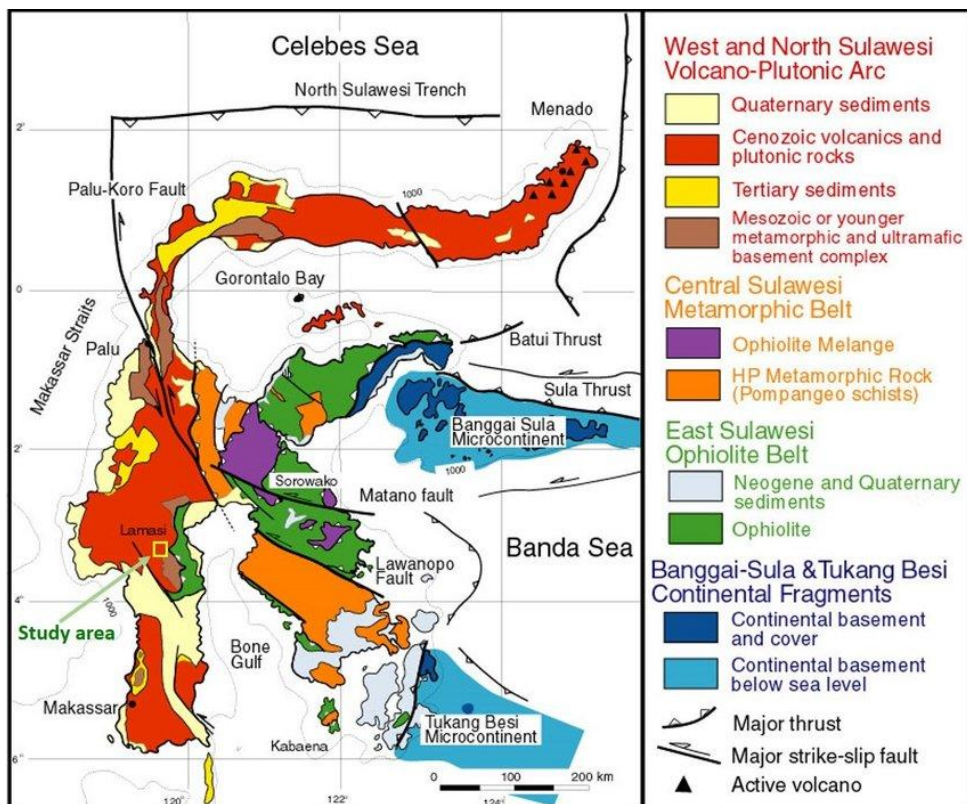
1.2 Teori

1.2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian

Pulau Sulawesi berada pada zona konvergensi tiga lempeng tektonik: Eurasian, Pasifik, dan India-Australia. Karena aktivitas tektonik yang kuat, struktur geologi Pulau Sulawesi sangat rumit. Empat sabuk lithotektonik diidentifikasi di pulau ini: Sabuk Batuan Gunung Api Sulawesi Barat, Sabuk Kompleks Metamorphik Sulawesi Tengah, Sabuk Ophiolit Sulawesi Timur, dan Fragmen Kontinental Banggai-Sula, Tukang Besi, dan Buton.

Sabuk Ophiolit Sulawesi Timur meluas 700 km dari utara ke selatan dan tersingkap lebih dari 15.000 km² (Kadariusman et. al., 2004). Batuan ultramafik banyak terdapat didalam sabuk ini, terdiri dari lherzolit, harzburgit, dan peridotit, dengan beberapa dunit dan piroksin. Ada dua unit litologi lain yang terjadi di sekitar kompleks ultramafik ini yaitu: batuan sedimen aluvial dan batuan sedimen kuarter dan kapur (Kadariusman, et. al., 2004).

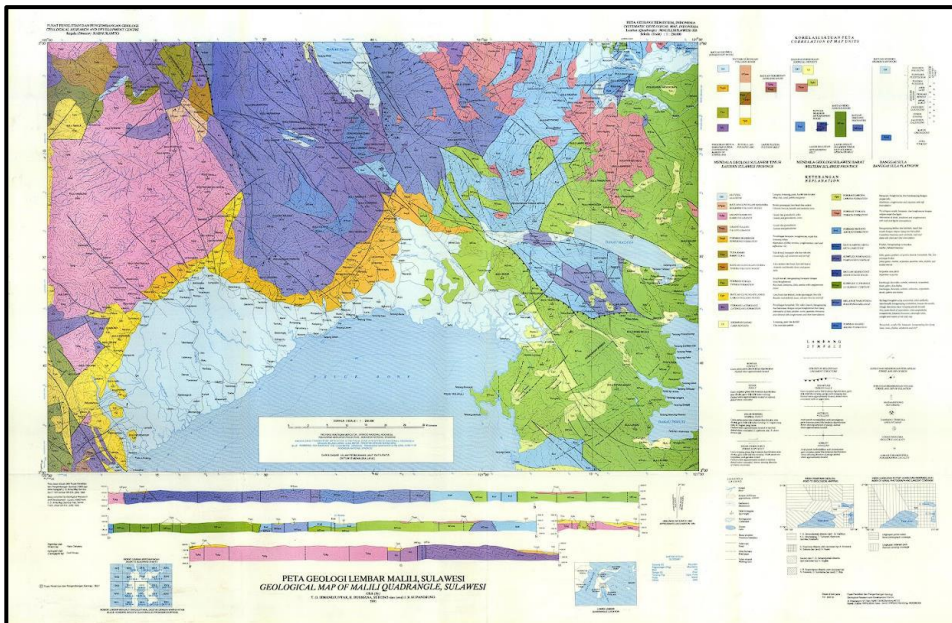
Wilayah penelitian terletak di Sabuk Ophiolit Sulawesi Timur dimana batuan ultramafik *Cretaceous* tersingkap karena proses subduksi yang terjadi pada Miosen, sekitar 10 juta tahun yang lalu. Daerah penelitian terdiri dari tiga unit batuan: endapan alluvial Kuarter dan endapan lacustrine, batuan ultramafik Tersier (harzburgit) yang menjadi batuan dasar endapan nikel laterit, dan batuan sedimen berumur Kapur (Golightly, et. al., 1979). Zona Sulawesi Barat terdiri dari subduksi berumur kapur; bagian tengah sedimen Tersier; dan batuan granit berumur tersier pada bagian atas. Zona Sulawesi Timur terdiri dari fragmen ophiolit dan kompleks subduksi. Sebuah perbedaan penting antara dua busur dari Sulawesi adalah terjadinya asosiasi granit dan granodiorit di busur barat dan tidak ada di bagian busur timur, yang memiliki kelimpahan batuan mafik dan ultrabasa sebagai gantinya. Pada Miosen akhir, Pulau Sulawesi dibelah dari Kalimantan, pulau Sulawesi menjadi terdistorsi, dan subduksi aktif menjadi semakin lebih menonjol di sepanjang Sulawesi palung utara (North Arm Sulawesi). Rifting dari Sulawesi dari Borneo dimulai dalam 7 waktu Paleogen dan pemisahan lengkap dicapai pada waktu Miosen (Wahid Ahmad, 2005). Gambar 1 menunjukkan geologi regional Daerah Pulau Sulawesi.



Gambar 2. Peta Geologi Lembar Malili, Sulawesi.

Sumber: Kadarusman, et. Al., 2004

Lembar Malili terletak diantara kordinat 120° - $121^{\circ}30'$ BT dan $2^{\circ}00'$ - $3^{\circ}00'$ LS, dan meliputi daerah seluas 21.000 Km². Lembar ini di utara dibatasi oleh Lembar Poso, di timur oleh Lembar Bungku, di selatan oleh Lembar Kendari, Teluk Bone dan Lembar Majene, dan di barat oleh Lembar Mamuju. Bagian selatan lembar termasuk Kabupaten Luwu, Provinsi Sulawesi Selatan, sedangkan bagian utara termasuk Kabupaten Poso, Provinsi Sulawesi Tengah.



Gambar 3. Peta Geologi Lembar Malili, Sulawesi.

Sumber: Simandjuntal, dkk., 1991

1. Geomorfologi Regional

Bentuk morfologi didasarkan pembahasan pada “Geologi Lembar Malili Sulawesi” oleh Simandjuntal, dkk (1991). Ditinjau dari segi morfologinya, daerah ini dapat dibagi atas 4 satuan geomorfologi yaitu Daerah Pegunungan, Daerah Perbukitan, 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 Koroue yang memanjang dan barat-laut – tenggara dengan ketinggian antara 700 - 3.016 meter di atas permukaan laut dan dibentuk oleh batuan granit dan malihan. Sedangkan di bagian tenggara lembar peta terdapat Pegunungan Verbeek dengan ketinggian antara 800 – 1.346 m di atas permukaan laut dibentuk oleh batuan ultramafik dan batugamping. Puncak-puncaknya antara lain G. Baliase (3016 m), G. Tambake (1838 m), Bulu Nowinokel (1700 m), G. Kaungabu (1760 m), Buhi Taipa (1346 m), Bulu Ladu (1274 m), Bulu Burangga (1032 m), dan Bulu Lingke (1209 m). Sungai-sungai yang mengalir di daerah ini yaitu S. Kataena, S. Pincara, S. Rongkong, S. Larona, dan S. Malili yang merupakan sungai utama. Pola aliran sungai umumnya dendritik yaitu menyerupai bentuk ranting pada pohon yang bercabang-cabang.

Daerah Perbukitan menempati bagian tengah dan timurlaut lembar peta dengan ketinggian antara 200 - 700 m di atas permukaan laut dan merupakan perbukitan yang agak landai yang terletak di antara daerah pegunungan dan daerah pedataran. Perbukitan ini dibentuk oleh batuan vulkanik, ultramafik dan batupasir. Puncak-puncak bukit yang terdapat di daerah ini di antaranya Bulu Tiruan (630 m), Bulu Tambunana (477 m), dan Bulu Bukila (645 m).

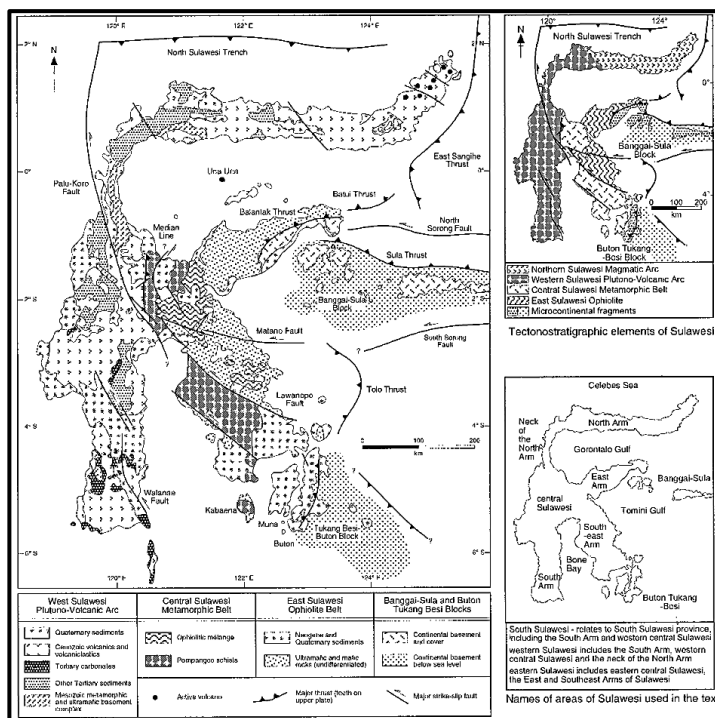
Daerah Pedataran menempati daerah selatan lembar peta, melampar mulai dan utara Palopo, Sabbang, Masamba, sampai Bone. Daerah ini mempunyai ketinggian hanya beberapa meter di atas permukaan laut dan dibentuk oleh endapan aluvium. Pada umumnya daerah ini merupakan daerah pemukiman dan pertanian yang baik. Sungai yang mengalir di daerah ini diantaranya S. Pampengan, S. Rongkong, dan S. Kebu yang menunjukkan proses berkelok (Simandjuntak dkk, 1991).

2. Stratigrafi Regional

Menurut Sukanto (1975) menyatakan bahwa pulau Sulawesi dan sekitarnya dibagi menjadi 3 Mandala Geologi di antaranya; Mandala Geologi Sulawesi Barat yang dicirikan dengan terdapatnya jalur gunung api Paleogen, Intrusi Neogen dan sedimen Mesozoikum. Mandala Geologi Sulawesi Timur yang dicirikan oleh terdapatnya batuan Ofiolit berupa batuan Ultramafik Peridotit, Hazburgit, Dunit, Piroksenit dan Serpentin yang diperkirakan berumur Kapur. Mandala Geologi Banggai Sula yang dicirikan oleh batuan dasar berupa Metamorf, batuan plutonik yang bersifat granitis berumur Trias dan Batuan Sedimen Mesozoikum.

Menurut Simandjuntak (1991) dan Moss dan Wilson (1998) Pulau Sulawesi dapat dibagi menjadi 4 Mandala (Gambar 3) di antaranya yaitu Mandala Plutono-vulkanik Sulawesi Barat, Mandala Ofiolit Sulawesi Timur, Lajur Malihan Sulawesi Tengah, Mandala Banggai Sula-Tukangbesi.

Satuan batuan di Lembar Bungku dapat dikelompokkan dalam dua mandala, yaitu Mandala Banggai-Sula dan Mandala Sulawesi Timur (Sukanto, 1975). Mandala Banggai-Sula mencakup Formasi Tokala (TR Jt) tersusun di antaranya atas batugamping klastika dengan sisipan batupasir sela, diperkirakan umurnya Trias - Jura Awal. Formasi Tokala ditindih secara selaras oleh Formasi Nanaka (Jn) yang tersusun atas konglomerat, batupasir kuarsa mikaan, serpih dan lensa batubara yang diperkirakan umurnya Jura Akhir. Formasi Masiku (KJn) terdiri dari batusabak, filit, batupasir, batugamping, berumur Jura Akhir - Kapur Awal. Formasi Salodik (Tems) diendapkan pada Eosen Akhir - Miosen Awal terdiri atas kalsilutit, batugamping pasir dan batupasir (Simandjuntak, dkk., 1991).



Gambar 4 Pembagian mandala geologi dan tatanan tektonik pulau Sulawesi.
Sumber: Moss dan Wilson (1998).

Mandala Sulawesi Timur mencakup Kompleks Ultramafik (Ku) yang hingga kini umumnya dianggap yang tertua. Batuannya tersusun harzburgit, lherzolit, wehrilit, websterlit, serpentinit, dunit dan gabro. Secara tektonik Kompleks Ultramafik menindih satuan batuan yang berumur Mesozoikum, baik itu dari Mandala Banggai-Sula atau juga Mandala Sulawesi Timur. Formasi Matano (Km) tersusun atas kalsilitit hablur bersisipan napal, serpih dan rijang yang diduga umurnya Kapur Akhir. Formasi Matano secara tak selaras tertindih oleh Formasi Tomata (Tmpt) yang tersusun dari atas batupasir, lempung, tufa, dan konglomerat dengan sisipan lignit, yang diperkirakan umurnya Miosen Akhir - Pliosen. Pada beberapa tempat terdapat aluvium (Qa) yang menindih secara tak selaras Formasi Tomata. Aluvium berupa endapan sungai, pantai rawa dan danau, terdiri dari atas kerikil, kerakal, pasir lempung dan sisa tumbuhan. Endapan muda tersebut diduga umurnya Plistosen – Holosen (Simandjuntak, dkk., 1991).

3. Struktur Geologi Regional

Sesar dan lipatan Struktur merupakan struktur utama di daerah ini. Sesar meliputi sesar turun, sesar geser, sesar naik dan sesar sungkup yang diduga berlangsung sejak Mesozoikum (Simandjuntak, dkk., 1991).

Sesar Matano sebagai sesar utama dengan arah barat-laut-tenggara menunjukkan gerakan mengiri yang diduga bersambung dengan Sesar Sorong. Keduanya merupakan satu sistem sesar jurus yang diduga telah terbentuk sejak

Oligosen. Kelanjutannya diperkirakan pada Sesar Palu-Koro yang juga menunjukkan gerakan mengiri (di luar Lembar Bungku; yang diperkirakan masih aktif).

Sesar lain di daerah ini lebih kecil yang merupakan sesar tingkat kedua atau mungkin tingkat ketiga. Lipatan yang terdapat di Lembar ini tergolong lipatan terbuka, tertutup, dan pergentengan.

Struktur geologi Lembar Bungku memperlihatkan ciri kompleks tumbukan dari pinggiran benua yang aktif. Berdasarkan struktur, himpunan batuan, biostratigrafi dan umur, daerah ini dapat dibagi menjadi dua kelompok yang sangat berbeda, yaitu Alohton yang terdiri dari Ofiolit dan Malihan, sedangkan Autohton terdiri dari batuan gunungapi dan pluton Tersier dari pinggiran Sundaland, serta kelompok Molasa Sulawesi (Simandjuntak, dkk., 1991).

Beberapa sesar utama tampaknya aktif kembali. Sesar Matano dan Sesar Palu Koro merupakan sesar utama berarah barat laut – tenggara dan menunjukkan gerak mengiri. Diduga kedua sesar itu masih aktif sampai sekarang, keduanya Bersatu di bagian barat laut. Di duga pula kedua sesar itu masih aktif sampai sekarang, keduanya Bersatu di bagian barat laut. Diduga pula kedua sesar tersebut terbentuk sejak Oligosen dan bersambungan dengan Sesar Sorong sehingga merupakan suatu sistem Sesar Transform. Sesar lain yang lebih kecil berupa tingkat pertama dan atau kedua yang terbentuk bersamaan atau setelah sesar utama tersebut.

Pada Kala Oligosen, Sesar Sorong yang menerus ke Sesar Matano dan Palu Koro mulai aktif dalam bentuk sesar transcurrent. Akibatnya mikrokontinen Banggai Sula bergerak ke arah barat dan terpisah dari benua Australia. Lipatan yang terdapat di daerah ini dapat digolongkan ke dalam lipatan lemah, lipatan tertutup, dan lipatan tumpang-tindih, sedangkan kekar terdapat dalam hampir semua jenis batuan dan tampaknya terjadi dalam beberapa periode.

Pada Kala Miosen Tengah, bagian timur kerak samudera di Mandala Sulawesi Timur yakni Lempeng Banggai Sula yang bergerak ke arah barat tersorong naik (terobduksi). Di bagian barat lajur penunjaman dan busur luar tersesar sungkupkan di atas busur gunungapi, mengakibatkan ketiga Mandala tersebut saling berhimpit.

Kelurusan Matano sepanjang 170 km dinamakan berdasarkan nama danau yang dilaluinya yakni danau Matano. Analog dengan sesar Palu Koro sesar Matano ini merupakan sesar mendatar sinistral, membentang membelah timur Sulawesi dan bertemu kira-kira disebelah utara Bone, pada kelurusan Palu-Koro. Sesar-sesar sistem Riedel berkembang dan membentuk sistem rekahan umum. Sepanjang sesar mendatar ini terdapat juga cekungan tipe *pull apart*.

1.2.2 Batuan Ultramafik

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% (Wahid Ahmad, 2002). Secara umum, batuan beku ultramafik didefinisikan sebagai batuan yang memiliki kandungan SiO₂ kurang dari 45%. Komposisi mineral dari batuan ini didominasi oleh mineral berat yang mengandung unsur-unsur seperti Fe, Co, dan Mn.

Ada perbedaan makna antara istilah "ultramafik" dan "ultrabasa". Istilah batuan ultrabasa dipakai untuk menggambarkan jenis batuan berdasarkan komposisi geokimianya, khususnya yang memiliki kandungan silika sangat rendah serta umumnya tidak mengandung mineral feromagnesian. Mineral feromagnesian sendiri dapat dikenali dari warnanya yang gelap dan biasanya didominasi oleh unsur besi (Fe) dan magnesium (Mg). Jika suatu batuan memiliki kadar Fe dan Mg yang sangat rendah, hal ini menunjukkan bahwa batuan tersebut lebih didominasi oleh mineral silikat seperti feldspar, feldspatoid, dan muskovit (Wahid Ahmad, 2006).

Mineral utama yang menyusun batuan ultramafik antara lain olivin, piroksen, dan amfibol, yang pada kondisi segar umumnya berwarna gelap. Saat mineral-mineral primer tersebut mengalami pelapukan atau dekomposisi, terbentuk larutan yang mengandung unsur-unsur terlarut, yang kemudian dapat mengendap di lokasi tertentu. Proses pelapukan ini berlangsung secara perlahan dan terus-menerus, sehingga menghasilkan profil laterit yang mencerminkan tahapan proses laterisasi (Hasria, 2020).

Mineral mafik sendiri merupakan kelompok mineral yang mencakup olivin, ortopiroksen, klinopiroksen, biotit, hornblenda atau amfibol, kromit, turmalin, oksida besi, serta dalam jumlah kecil dapat mengandung garnet dan spinel, dengan kemungkinan kehadiran biotit juga. Sehingga, batuan ultramafik tidak identik dengan batuan ultrabasa. Sementara kebanyakan batuan ultramafik juga ultrabasa, tidak semua batuan ultrabasa bersifat ultramafik. Dengan demikian, batuan yang kaya akan feldspathoid adalah ultrabasa namun tidak ultramafik karena tidak mengandung mineral feromagnesian. Batuan ultramafic dapat dijumpai sebagai batuan beku plutonik yang ditemukan di kerak maupun sebagai batuan metamorf yang berasal dari mantel (Hutabarat dan Ismawan, 2015).

Tabel 1. Perbandingan Batuan Ultramafik dan Batuan Ultrabasa.

	Ultramafic rock (Mafics > 70%)	Ultrabasic rock (Silica < 45%)
<i>Dunite</i>	<i>Yes, mafics 100%</i>	<i>Yes, silica = 43%</i>
<i>Serpentine</i>	<i>Yes, mafics 100%</i>	<i>Yes, silica = 43%</i>
<i>Harzburgite (50% olivine, 50% enstatite)</i>	<i>Yes, mafics 100%</i>	<i>No, silica = 51%</i>
<i>Orthopyroxene (enstatite)</i>	<i>Yes, mafics 100%</i>	<i>No, silica = 60%</i>
<i>Anorthosite</i>	<i>No, mafics <10%</i>	<i>Yes, silica = 43%</i>

Sumber: Wahid Ahmad, (2009).

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

1. Peridotit

Peridotit biasanya membentuk suatu kelompok batuan ultramafik yang disebut ofiolit, umumnya membentuk tekstur kumulus yang terdiri dari atas harzburgit, lherzolite, *werlita* 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.

2. Dunit

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). Dunit memiliki komposisi mineral hampir seluruhnya adalah monomineralik olivin (umumnya magnesit 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 temperatur tersebut, batuan tersebut siap bersatu membentuk massa olivin anhedral yang saling mengikat. Terbentuk batuan yang terdiri dari olivin murni (dunit) misalnya, membuktikan bahwa larutan magma (liquid) berkomposisi olivin memisah dari larutan yang lain (Wahid Ahmad, 2002).

3. Piroksinit

Menurut (Wahid 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.

a. *Orthopyroxenites: Bronzitites*

b. *Clinopyroxenites: Diopsidites; diallagites*

4. Hornblendit

Hornblendit adalah batuan beku yang didominasi oleh mineral hornblende. Batuan ini biasanya memiliki warna gelap dan sering ditemukan dalam formasi batuan yang berhubungan dengan daerah subduksi atau intrusi magma dalam kerak bumi. Hornblendit dapat terbentuk dari pendinginan magma yang kaya silikat (Van der Pluijm dan Marshak, 2004).

Peterson (1992) menjelaskan bahwa batuan hornblendit terbentuk dari proses kristalisasi magma yang kaya akan besi dan magnesium. Hornblende sendiri adalah mineral yang sering terbentuk pada suhu tinggi dan tekanan tinggi, yang menjelaskan bagaimana batuan ini dapat ditemukan pada kedalaman yang lebih besar di bawah permukaan bumi.

5. Serpentininit

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

Menurut Ringwood (1975), bahwa pada prinsipnya kerak serpentininit dapat dihasilkan dari mantel oleh hidrasi dari mantel ultrabasa (mantel peridotit dan dunit) di bawah punggung tengah samudera (*Mid Ocean Ridge*) pada temperatur <500°C. serpentin kemudian terbawa keluar melalui migrasi litosfer. Serpentinisasi pada mineral olivin menurut Wahid Ahmad (2002), bahwa serpentin merupakan suatu pola mineral dengan komposisi $H_4Mg_3Si_2O_9$, terbentuk melalui alterasi hidrotermal dari mineral feromagnesia seperti olivin, piroksin, dan amfibol. Menurut Wahid Ahmad (2002), bahwa serpentinisasi pada olivin memerlukan penambahan

air, pelepasan silika, pelepasan besi (Mg,Fe) pada olivin, konversi pelepasan besi dari bentuk ferrous (Fe^{2+}) ke ferri (Fe^{3+}) ke bentuk magnetit.

1.2.3 Endapan Laterit

Endapan laterit diartikan sebagai hasil dari proses pelapukan yang intensif di daerah *warm* maupun *tropic* 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, 2017)

Laterit menurut Evans (1993), merupakan produk sisa dari pelapukan kimia batuan di permukaan bumi, sehingga mineral primer mengalami ketidakstabilan karena adanya air kemudian larut atau pecah sehingga membentuk mineral baru yang lebih stabil. Laterit penting karena berperan sebagai induk untuk endapan bijih ekonomis. Contoh terkenal dari endapan laterit yaitu endapan bijih bauksit, endapan bijih besi dan endapan bijih nikel.

Laterit merupakan sumber dari beberapa mineral ekonomis diantaranya bauksit dan nikel (Ni), mangan (Mn), tembaga (Cu), emas (Au) dan platinum *group element* (PGE). Zona saprolit merupakan bagian paling bawah dari profil laterit disebut dengan yang merupakan zona pelapukan tinggi dimana tekstur primer dan fabrik dari batuan asalnya masih dapat dilihat. Akibat fluida yang bersifat *oxide* 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).

Menurut Wahid Ahmad (2009), pada dasarnya perilaku berbagai unsur selama proses lateralisasi dikendalikan oleh dua faktor, yaitu:

- Sifat kimia tertentu dari masing-masing unsur itu sendiri (geokimia).
- Kondisi lingkungan yang berlaku di antaranya suhu, curah hujan, kondisi batuan, kondisi pH, dll.
- Ca. Kalsium memiliki sifat yang sangat larut dalam air tanah di daerah tropis.
- Mg. Magnesium sangat larut dalam air tanah. Dalam kondisi tropis basah, magnesia dapat dengan cepat keluar dari profil laterit. Namun, di bawah kondisi iklim basah-kering, beberapa magnesia dalam bentuk lempung dalam profil laterit mungkin terhambat.
- Si. Silika memiliki kelarutannya lebih rendah dari magnesia, silika seringkali dapat diendapkan dalam zona saprolitik dari profil laterit di mana magnesia secara aktif masuk ke dalam larutan.
- Fe. Kelarutan zat besi sangat bervariasi tergantung pada keadaan valensinya, dimana zat besi (Fe^{++}) cukup larut dalam air tanah sedangkan zat besi (Fe^{+++}) sangat tidak larut.
- Al. Alumina adalah salah satu unsur yang tidak bergerak yang ada dalam profil laterit selama air tanah berada pada kisaran pH 4,5 hingga 9,5 (sebagian besar air tanah memang termasuk dalam kisaran ini)

- h. Cr. Kromium dalam kromit tidak larut dalam air tanah dan sangat stabil, bertahan sebagai kromit di zona limonit laterit.
- i. Mn dan Co memiliki mobilitas agak rendah di perairan asam dan cenderung bergerak ke bawah profil laterit. Namun, mereka mencapai tingkat ketidaksuburan mereka lebih cepat (dan lebih awal dari nikel) dan diendapkan baik di bagian bawah zona limonit atau di bagian atas zona saprolit. Konsentrasi kobalt umumnya mengikuti mangan dalam profil laterit.

Tabel 2. Peran beberapa elemen selama pelapukan laterit.

Element	Exists in the ultramafics as	Role during lateritic weathering
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 & 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 & 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,</i>

		<i>hydrogoethite, limonite, ferrihydrite, xanthosiderite & esmeraldaite)</i>
--	--	--

Sumber: Wahid Ahmad (2009).

1.3 Nikel Laterit

Laterit berasal dari bahasa latin yaitu *later*, yang artinya bata (membentuk bongkah-bongkah yang tersusun seperti bata yang berwarna merah bata) (Jafar dkk., 2016). Nikel laterit adalah endapan yang berasal dari proses pelapukan (laterisasi) pada batuan induk (batuan ultramafik) yang mana Indonesia merupakan negara beriklim tropis sehingga memungkinkan pelapukan tinggi dapat terjadi (Arifin dkk., 2015). Oleh karena itu komposisi kimia dan mineraloginya berbeda antara satu endapan dengan endapan yang lainnya.

Laterit penting sebagai tuan rumah bagi endapan bijih ekonomi, karena interaksi kimia yang dalam beberapa kasus sangat efisien dalam mengkonsentrasikan beberapa elemen. Nikel laterit adalah produk lateritisasi batuan kaya Mg atau ultramafik yang memiliki kandungan Ni primer 0,2 – 0,4% (Golightly, 1981). Batuan seperti ini umumnya dunit, harzburgit dan peridotit yang berada di kompleks ofiolit, dan lapisan batuan intrusi mafik-ultramafik dalam pengaturan platform kratonik (Brand et, al., 1998). Proses lateritisasi menghasilkan konsentrasi dengan faktor 3 hingga 30 kali kandungan nikel dan kobalt dari batuan induk. Proses dan karakter laterit yang dihasilkan dikendalikan pada skala regional dan lokal oleh faktor-faktor dinamis seperti iklim, topografi, tektonik, tipe dan struktur batuan primer (Elias, 2002).

1.3.1 Genesa Endapan Laterit

Sebagian besar sumber nikel laterit terbentuk sekitar 22° garis lintang di kedua sisi khatulistiwa dan dalam beberapa kasus dengan kadar tinggi, endapan terkonsentrasi di zona aktif lempeng tektonik (misalnya Indonesia, Filipina dan Kaledonia Baru) di mana produk-produk yang luas terkena cuaca kimia yang agresif dalam kondisi tropis dengan curah hujan tinggi dan suhu yang hangat, dan ada kesempatan besar untuk terjadinya pengayaan supergen.

Proses terbentuknya nikel dimulai dari adanya pelapukan yang intensif pada *bedrock*. *Bedrock* akan berubah menjadi serpentinit akibat larutan residual pada waktu proses pembekuan magma (proses serpentinisasi) dan akan merubah batuan peridotit (*bedrock*) menjadi batuan serpentinit. 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). Berikut merupakan klasifikasi *mobile element* pada endapan Ni-Laterit yang ditunjukkan pada Tabel 3.

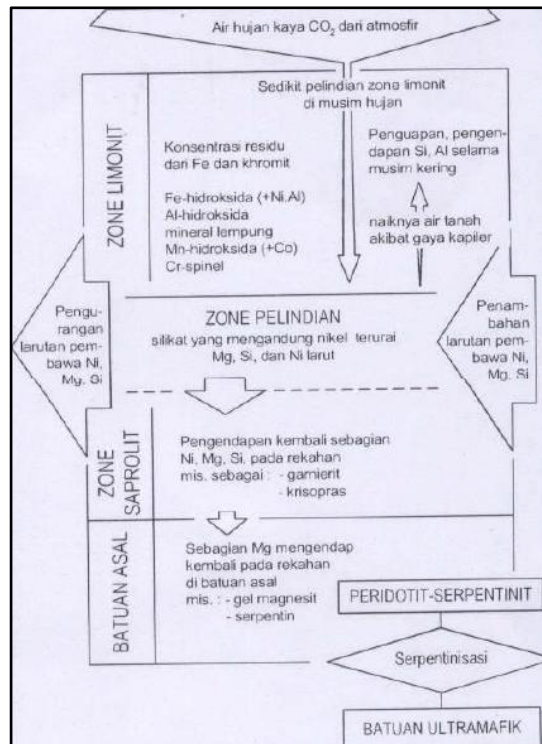
Tabel 3. Klasifikasi *Mobile Element* Pada Endapan Ni-Laterit.

Unsur	Mobilitas	Kategori
Fe ³⁺	-18,1	Terkayakan secara residual
Cr ³⁺	-16,4	
Al ²⁺	-15,3	
Cu ²⁺	-5,7	
Ni ²⁺	-3,2	Terkayakan secara supergen
Co ²⁺	-1,7	
Zn ²⁺	-1,5	
Mn ²⁺	1,3	
Mg ²⁺	3,1	

Sumber: Trescases (1975).

Air resapan yang mengandung CO₂ (dari udara) meresap kebawah 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 *saprolite 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.

Adanya erosi air tanah asam dan erosi di permukaan akan melarutkan mineral-mineral yang telah terendapkan. Zat-zat tersebut terbawa ke tempat yang lebih dalam, sehingga terjadi pengkayaan (*enrichment*) pada bijih nikel. Kandungan nikel pada saat terendapkan akan semakin bertambah banyak, sementara itu magnesium tersebar di aliran air tanah. Proses pengkayaan bersifat kumulatif, di mana proses dimulai dari batuan yang mengandung 0,25 % nikel sehingga akan menghasilkan 1,5% bijih nikel. Keadaan tersebut merupakan kadar nikel yang sudah dapat ditambang, di mana waktu yang diperlukan untuk proses pengkayaan mungkin dalam beberapa ribu tahun atau bahkan berjuta-juta tahun. Nikel laterit yang memiliki kadar paling tinggi berada pada dasar zona pelapukan dan diendapkan pada tekanan di bagian atas dari lapisan dasar batuan (*bedrock*).



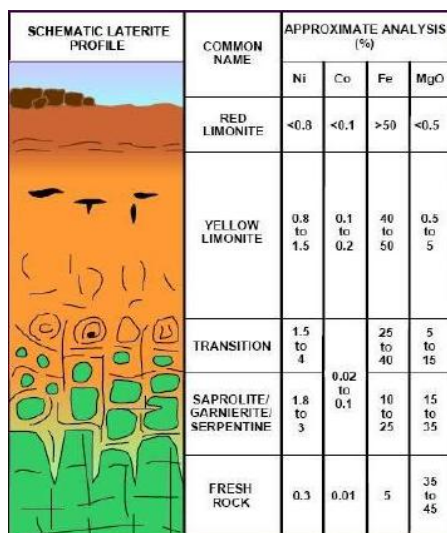
Gambar 5. Skema Pembentukan Endapan Nikel Laterit .
Sumber: Darijanto, 1986

1.3.2 Profil Laterit

Menurut Kyle (2010), secara umum endapan nikel laterit dapat dibagi menjadi empat zona utama, yaitu zona *ferricrete*, zona limonit, zona saprolit, dan *bedrock*. Keempat zona ini masing-masing memiliki kandungan nikel, besi, dan magnesita berbeda-beda.

1. Zona *ferricrete*. Zona ini merupakan bagian paling atas dari endapan nikel laterit yang terdiri dari humus, oksida besi, dan sisa organik. Lapisan ini berwarna cokelat tua, kehitaman dan bersifat gembur. Kandungan besi pada lapisan ini sangat tinggi ($\pm 60\%$) dengan komponen mineral utama berupa hematit. Nikel yang terkandung pada zona ini umumnya $< 0,6\%$. Lapisan ini menjadi *overburden* pada proses penambangan.
2. Zona limonit. Zona ini berada di bawah zona *ferricrete*. Zona ini merupakan hasil pelapukan lebih lanjut dari batuan ultramafik. Lapisan ini berwarna merah kecoklatan dan mengandung oksida besi dalam bentuk *goethite* dan hematit. Pada zona limonit kandungan nikelnya berkisar antara 0,8 – 1,5%. Sebagian besar nikel berada dalam larutan padat dengan *goethite*. Pada zona limonit kandungan besinya cukup tinggi berkisar antar 40-50%. Secara umum material-material penyusun zona ini berukuran halus (lempung-lanau), sering dijumpai mineral stabil seperti spinel, magnetit dan kromit (Golightly, 1979).

3. Zona saprolit. Zona saprolit berada di bawah lapisan limonit. Zona saprolit merupakan zona dengan kandungan nikel paling tinggi karena menjadi zona pengayaan unsur nikel (Ni). Mineral utama saprolit adalah serpentin ($\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) dengan Mg digantikan nikel membentuk *garnierite* ($\text{Mg,Ni}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})$). Kandungan nikel pada zona saprolit berkisar 1,5 – 3%. Ketebalan zona ini berkisar 5-18 m. Kemunculan bongkah-bongkah sangat sering dan pada rekahan-rekahan batuan asal dijumpai magnesit, serpentin, krisopras dan garnierit. Bongkah batuan asal yang muncul pada umumnya memiliki kadar SiO_2 dan MgO yang tinggi serta Ni dan Fe yang rendah.
4. Zona batuan dasar (*Bedrock*). *Bedrock* berada bagian paling bawah dari profil laterit. Batuan dasar merupakan batuan asal dari nikel laterit yang umumnya merupakan batuan induk yaitu beku ultrabasa yaitu peridotit yang pada rekahannya telah terisi oleh oksida besi 5-10%, garnierit minor dan silika >35%. Batuan induk ini merupakan batuan yang masih segar dengan pengaruh proses-proses pelapukan sangat kecil. Batuan induk umumnya berupa peridotit, serpentin, atau peridotit terserpentinisasikan.



Gambar 6. Profil Laterit.

Sumber: Wahid Ahmad, (2008).

1.3.3 Klasifikasi Nikel Laterit

Berdasarkan komposisi mineraloginya, bijih nikel laterit dapat dibagi menjadi tiga kelompok yaitu (Brand et al., 1998; Gleeson et al., 2003):

Tabel 4. Klasifikasi Endapan Ni-Laterit Berdasarkan Mineralogi.

Sumber: Brand et al (1998) ; Gleeson et al (2003)

Nama	Kadar Ni	Mineralogi
<i>Hydrous Silicate</i>	1,8 – 2,5 %	<i>Hydrous Mg-Ni silicate</i>

- | | | |
|--------------------------------------|----------------------------|--|
| <i>Clay Silicate</i>
<i>Oxide</i> | 1,0 – 1,5 %
1,0 – 1,6 % | <i>Ni-rich smectite</i>
<i>Iron oxyhydroxides</i> |
|--------------------------------------|----------------------------|--|
- a. *Hydrous silicate deposit*
Endapan silikat *hydrous* ini adalah endapan nikel laterit yang mempunyai kadar Ni paling tinggi berkisar antara 1,8 – 2,5% saprolit bagian bawah merupakan horison bijih (*ore*) sedangkan mineral bijih adalah silikat Mg-Ni *hydrous*. Tipe ini dibentuk oleh alterasi mineral primer batuan seperti serpentin dan garnierit.
 - b. *Clay silicate deposit* (endapan silikat lempung).
Dalam endapan ini, terjadinya pelapukan oleh air tanah Si akan terurai sebagian, dan sebagian lagi bergabung dengan Fe. Ni dan Al akan membentuk mineral lempung (clay) seperti nontronite, biasanya terdapat di bagian atas saprolit dan protolith. Serpentin yang kaya akan Ni juga dapat digantikan oleh smektit atau kuarsa juga dipengaruhi oleh air tanah yang cukup lama. Kandungan Ni rata-rata 1 – 1,5%.
 - c. *Oxides deposit* (endapan oksida)
Endapan laterit oksida atau dikenal juga sebagai endapan limonit. Ni banyak mengandung oksida Fe, terutama goethite. Terdapat juga oksida Mn yang diperkirakan dalam Co, dimana kandungan Ni rata-rata 1 – 1,6%.

1.3.4 Faktor Pembentukan Nikel Laterit

1. Protolith

Protolith untuk endapan Ni laterit didominasi oleh batuan ultramafik yang mengandung kadar olivin forsterik yang tinggi dengan kandungan Ni antara 0,2 dan 0,4%. Beberapa endapan kecil terbentuk dari batuan sedimen yang berasal dari pelapukan batuan ultramafik. Dapat dikatakan sangat jarang regolith pada tipe batuan lain memiliki kandungan yang kaya nikel.

Jenis endapan Ni laterit hanya sebagian yang dikontrol oleh litologi, tiap jenis dari ketiga kelas endapan dapat terbentuk pada peridotit, namun pada protolith dunit, endapan oksida mendominasi. Nikel laterit pada batuan kaya olivin yang tidak mengalami serpentinisasi tidak terdokumentasi cukup baik, namun cenderung membentuk endapan oksida dengan unit saprolitik yang cukup tipis dan berbatu. Protolith yang mengalami serpentinisasi sebagian atau keseluruhan biasanya menghasilkan endapan saprolit yang lebih tebal, namun kadarnya cenderung lebih rendah dengan meningkatnya alterasi (perubahan).

2. Setting Tektonik

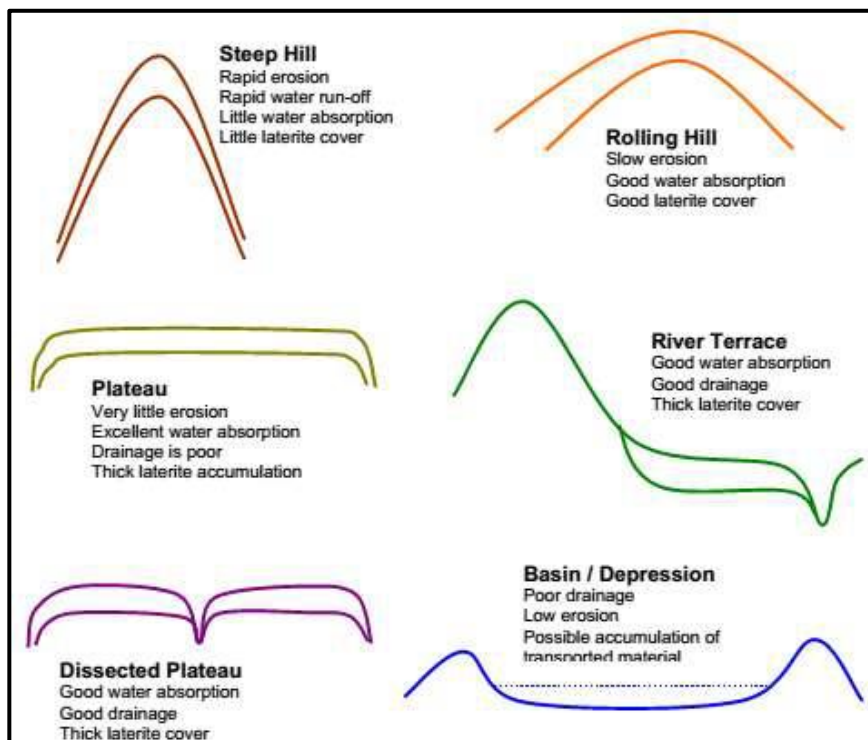
Nikel laterit dapat terbentuk pada kompleks ophiolit phanerozoic, banyak endapan terdapat di area Cretaceous hingga Miocene yang makin melebar. Kompleks tersebut biasanya berupa patahan (fault) dan kekar (joint) dan dipengaruhi oleh pengangkatan tektonik yang mengakibatkan topografi naik dan permukaan air tanah turun, yang menyebabkan peningkatan aliran air tanah dan intensitas pelapukan.

Menurut Elias (2005), tektonisme dapat menghasilkan pengangkatan yang menyebabkan tanah atau batuan tersingkap dan mempercepat proses erosi, menurunkan muka air tanah, dan merubah relief. Untuk menghasilkan pembentukan

endapan laterit yang stabil diperlukan kondisi tektonik yang stabil karena dapat mengurangi proses erosi dan memperlambat gerak air tanah.

3. Topografi dan geomorfologi

Topografi memiliki peranan penting dalam pembentukan endapan nikel laterit, terutama kaitannya dengan struktur, pengaliran, dan posisi permukaan air tanah. Pengaruh topografi terhadap pembentukan laterit berpengaruh melalui proses penyerapan air, pemindahan substansi zat terlarut, dan erosi profil laterit (Wahid Ahmad, 2008). Di area dengan relief tinggi, banyak endapan dengan zona pengkayaan kadar yang tinggi, terletak di kemiringan bukit, *crest*, *spur*, *plateau*, dan/atau *terrace*. Secara profil, permukaan air tanah pada posisi topografi yang rendah dan ditambah dengan adanya struktur seperti patahan dan kekar, memberikan laju proses leaching yang maksimum dan pengaliran larutan sehingga meningkatkan konsentrasi residu dan akumulasi di dalam saprolit. Keadaan topografi yang demikian umumnya endapan silikat hidrous yang memiliki kadar yang tertinggi yang terbentuk pada batuan peridotit.



Gambar 7. Bentuk Lahan terhadap Pelapukan.

4. Iklim

Iklim berperan besar dalam pembentukan endapan Ni laterit. Sebagian besar terbentuk di savana atau iklim tropis lembab. Udara hangat dan curah hujan tinggi, ditambah aktivitas biogen yang tinggi, memungkinkan pelapukan kimiawi secara

cepat dalam membentuk endapan di area dengan relief tinggi dengan laju erosi yang tinggi.

5. PH

Menurut (Wahid Ahmad, 2009) kelarutan mineral akan meningkat di perairan yang memiliki kadar pH yang rendah. Dengan demikian, air yang sedikit asam akan mempercepat proses pelapukan kimia. Air asam banyak terbentuk pada iklim tropis basah melalui hujan asam alami.

6. Struktur

Struktur geologi memiliki peran penting dalam pembentukan endapan laterit. Adanya struktur geologi seperti sesar dan kekar akan membuat batuan menjadi permeabel sehingga memudahkan air untuk dapat masuk ke dalam batuan. Masuknya air ke dalam batuan akan memudahkan proses pelapukan kimia sehingga laterisasi dapat berjalan dengan baik (Elias, 2005).

BAB II

METODE DAN TAHAP PENELITIAN

Penelitian ini dirancang sebagai panduan untuk melaksanakan rangkaian kegiatan penelitian. Dengan metode penelitian yang disusun secara sistematis dan terstruktur, diharapkan dapat diperoleh hasil penelitian yang sesuai dengan hipotesa awal. Pelaksanaan penelitian ini menggunakan metode observasi dan pengamatan langsung di lapangan, dengan fokus pada berbagai parameter. Sehingga dalam mencapai tujuan dan sasaran penelitian maka perlu dilakukan tahapan penelitian yang sistematis. Tahapan tersebut meliputi tahapan pendahuluan, tahapan pengambilan data, tahapan analisis data dan tahapan penyusunan laporan.

2.1 Metode Penelitian

Metode penelitian disusun secara sistematis dan diharapkan dapat memberikan hasil penelitian sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini berupa metode kualitatif yakni observasi lapangan dan metode kuantitatif berupa pengolahan data dan analisis data geokimia serta analisis statistik.

2.1.1 Tahap Pendahuluan

Tahapan ini merupakan tahap awal yang dilakukan oleh penulis dalam melakukan penelitian terdiri dari persiapan dan perizinan. Persiapan yang dilakukan meliputi penentuan daerah penelitian, sedangkan perizinan menyangkut persyaratan administrasi yang mendukung keberjalanan penelitian tugas akhir. Terdapat pula tahap studi pustaka untuk mengetahui kondisi geologi regional dan daerah penelitian yang meliputi struktur geologi, dan pemetaan geomorfologi. Tahap ini juga meliputi kajian mengenai endapan nikel laterit yang berkembang di daerah penelitian.

2.1.2 Tahap Observasi dan Pengambilan Data

Tahap ini dilakukan di lapangan daerah penelitian serta di *Geologist Office* PT. Vale Indonesia di Desa Sorowako, Kecamatan Towuti, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. Pada tahap ini dilakukan pengambilan data primer dan sekunder. Data primer meliputi sampel *coring* batuan, foto inti bor beserta deskripsinya. Data sekunder berupa data bor yang meliputi data logging dan data *assay* geokimia (*X-Ray Fluorescence XRF*).

1. Pengambilan Data Primer
 - a. Pengambilan data primer yaitu meliputi logging bawah permukaan dilakukan dengan pengeboran *full coring* menggunakan mesin bor *corstek* dengan kelas pekerjaan dalam.



Gambar 8. Pengambilan Data *Logging*.

- b. Pengamatan kondisi geologi daerah penelitian dan endapan nikel laterit



Gambar 9. Pengamatan kondisi geologi dan endapan nikel laterit daerah penelitian.

2. Pengambilan Data Sekunder
Pengambilan data sekunder dilakukan berdasarkan hasil analisis laboratorium yang disajikan dalam bentuk *assay spreadsheet*.

Gambar 10. Database *Drillholes* pada daerah penelitian berupa data elevasi tiap material endapan nikel laterit per *drillholes* beserta kandungan kimia per fraksi hingga data collar endapan nikel laterit.

2.1.3 Tahap Pengolahan dan Analisis Data

Pada tahap ini, data yang diperoleh dari hasil pengeboran menghasilkan beberapa analisis:

2.1.3.1 Analisis Data *Coring*

Pengeboran merupakan salah satu tahapan dalam proses eksplorasi, yang memiliki *output* berupa sampel bawah permukaan yang mana data tersebut akan sangat membantu di dalam melakukan interpretasi data geologi lanjutan. Analisis data bor (*coring*) dilakukan untuk mengetahui jenis batuan, jumlah fracture pada daerah penelitian serta kenampakan laterit. Jenis batuan didapatkan melalui pengamatan terhadap *bottom core* pada zona batuan dasar dari setiap titik pengeboran.

2.1.3.2 Analisis Laboratorium

Analisis laboratorium yang dilakukan meliputi analisis geokimia dengan menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* untuk mengetahui kadar Ni. Adapun prosedur untuk analisis X-Ray Fluorescence adalah sebagai berikut.

1. **Preparasi Sampel Basah (*Core Preparation*)**
 - a. ***Sample Screening*** adalah tahap sampel dipilih sesuai fraksi (ukuran butir) masing-masing.
(fraksi -1, -2 +1, -6 +2, 6).
 - b. ***Wet Weighing*** (Penimbangan Basah), yaitu sampel basah ditimbang sesuai fraksi untuk mengetahui berat sampel dalam keadaan basah.
 - c. ***Quartering*** dan Homogenisasi, yakni sampel tiap fraksi akan dihomogenisasi kemudian dibagi empat bagian. Dua bagian akan menjadi sampel original dan dua bagian akan di simpan di *storage*.
2. **Preparasi Sampel Kering (*Pulp Preparation*)**

- a. *Wet Weighing* (Penimbangan Basah) dan Pengeringan sampel, di mana sampel yang telah dipreparasi basah sebelumnya, ditimbang lagi dalam keadaan basah sebelum dikeringkan di oven selama 14-16 jam dengan temperatur 105-110°C
 - b. Penimbangan sampel kering, yaitu sampel ditimbang untuk mengetahui berat kering sehingga dapat diketahui kadar H₂O yang akan diolah pada tahap selanjutnya dan disimpan sebagai database untuk keperluan berikutnya apabila ada kesalahan data.
 - c. *Crushing*, sampel direduksi ukurannya hingga ukuran (-10 *mesh*) dengan menggunakan *body crusher*.
 - d. *Splitting*, yaitu sampel dimasukkan ke dalam *splitter* untuk dilakukan homogenisasi dan sebanyak 3 kali. Pada tahapan ini dilakukan juga pengurangan material sampel yang diolah spliter dan jumlah sampel yang diambil pada proses ini yaitu ± 250 gram.
 - e. CRM (*Continuous Ring Mill*), yaitu sampel digerus dengan alat untuk menghasilkan sampel berukuran -200 *mesh*.
 - f. *Packing*, yaitu sampel dikemas dengan memasukkan sampel ke dalam kantong sampel dengan menggunakan sendok sampel kemudian akan dikirim ke laboratorium *process technology* dan sebagian sampel disimpan sebagai *sample backup*.
 - g. *Press Pallet* yaitu proses preparasi sampel menjadi kepingan-kepingan tipis (*pallet*) yang akan dianalisis menggunakan metode XRF (X-Ray Fluorescence).
3. Hasil analisis XRF berupa data *assay* geokimia dalam bentuk *spreadsheet* diolah menggunakan *macro* untuk menentukan kadar Ni dan nilai *recovery* nikel.

2.1.4 Pembuatan Peta

Pembuatan peta dilakukan dengan menggunakan bantuan software ArcGIS 10.3, dan menggunakan data coring (*hole id*, data collar, dsb). Dari data tersebut dapat dibuat peta litologi, peta struktur, peta geomorfologi, peta persebaran titik bor, serta peta penyebaran Ni.

2.1.5 Penyusunan Laporan

Berdasarkan data – data yang telah diperoleh, hasil analisis data yang telah dilakukan, dan referensi berdasarkan literatur dan laporan peneliti terdahulu terkait penelitian ini, selanjutnya disusun dalam bentuk tulisan ilmiah berupa tugas akhir (skripsi) yang berlaku pada program studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin untuk dipresentasikan dalam bentuk seminar.

Tabel 5. Flow Chart Penelitian.

