

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel merupakan salah satu bahan galian yang banyak ditemukan di Indonesia, menurut data US Geological Survey (2024) menyebutkan dari total 74 juta metrik ton nikel cadangan nikel dunia, cadangan nikel di Indonesia mencapai 4,5 juta metrik ton nikel. Adapun persebaran bijih nikel laterit di Indonesia banyak ditemukan di Pulau Sulawesi, Kepulauan Maluku dan Halmahera, Papua, serta sedikit di Kalimantan (Arif, 2018). Nikel sebagai salah satu sumber daya mineral ekonomis di bumi ini perlu ditemukan keberadaannya untuk dapat memenuhi kebutuhan dibidang perindustrian. Nikel mempunyai sifat tahan karat. Dalam keadaan murni nikel bersifat lunak, tetapi jika dipadukan (*alloy*) dengan besi, krom, dan logam lainnya dapat membentuk baja tahan karat yang keras. Perpaduan nikel, krom dan besi menghasilkan baja tahan karat (*stainless steel*) yang banyak diaplikasikan pada peralatan dapur (sendok, dan peralatan memasak), ornamen-ornamen rumah dan gedung, serta komponen industri (Sukandarrumidi, 2007).

Penggunaan nikel yang terus meningkat tiap tahun mendorong manusia untuk melakukan pencarian terhadap sumberdaya nikel. Salah satu kegiatan pertambangan yang dilakukan adalah kegiatan eksplorasi. Kegiatan eksplorasi secara umum terbagi menjadi dua bagian yaitu eksplorasi pendahuluan atau prospeksi, dan eksplorasi rinci (SNI-4726-2019). Tahap awal yang menentukan kegiatan eksplorasi kedepannya yaitu eksplorasi pendahuluan yang merupakan tahapan awal untuk menentukan lokasi yang berpotensi memiliki keterdapatan bahan galian yang dicari dalam hal ini yaitu cebakan yang memungkinkan terbentuknya zona yang berpotensi menghasilkan endapan nikel laterit sehingga diperlukan pendekatan-pendekatan yang dapat menunjang penentuan lokasi kegiatan eksplorasi selanjutnya.

PT Graha Mining Utama merupakan salah satu perusahaan yang berada di Desa Siumbatu, Kecamatan Bahodopi, Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah yang melakukan proses penambangan namun sebagai langkah awal, dilakukan kegiatan eksplorasi untuk mengetahui informasi pada area yang akan

menjadi target eksplorasi lebih lanjut dilakukan pemetaan sebaran endapan nikel laterit yang tersingkap secara langsung dengan metode pemetaan geologi semi detail. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengumpulkan berbagai data dan informasi geologi permukaan yang dapat digunakan dalam menentukan area yang dinilai memiliki nilai ekonomis yang tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang rumusan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana kondisi geologi pada daerah penelitian?
2. Bagaimana sebaran kadar Ni pada daerah penelitian?
3. Bagaimana daerah prospek endapan nikel laterit pada daerah penelitian?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian pada rumusan masalah tujuan dilakukannya penelitian ini sebagai berikut:

1. Menganalisis kondisi geologi pada daerah penelitian.
2. Menganalisis sebaran kadar Ni pada daerah penelitian.
3. Menentukan daerah prospek untuk dilakukan eksplorasi lanjutan.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk memberikan informasi pada perusahaan mengenai daerah dengan prospek endapan nikel laterit untuk dilakukan eksplorasi lanjutan dan memberikan pengetahuan baru bagi mahasiswa mengenai eksplorasi pendahuluan endapan nikel laterit pada IUP PT GMU Kecamatan Bahodopi, Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah.

1.5 Ruang Lingkup

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pemetaan geologi berupa pengambilan data geomorfologi, struktur geologi dan litologi serta pengambilan sampel permukaan untuk dilakukan uji kadar Ni untuk menentukan daerah prospek laterit pada lokasi IUP PT Graha Mining Utama (GMU).

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Pulau Sulawesi berada pada zona konvergen tiga lempeng tektonik, yakni Lempeng Eurasian, Lempeng Pasifik, dan Lempeng India-Australia. Hall dan Wilson, 2000; Kadarusman dkk., 2004; Sompotan, 2012 mengelompokkan pulau Pulau Sulawesi menjadi empat unit litoteknik yang dibatasi oleh dislokasi tektonik skala besar serta sesar utama yang berkembang di Pulau Sulawesi. Pembagian litotektonik dari Barat ke Timur yaitu Mandala Barat (Busur Plutonik-Vulkanik Sulawesi Barat dan Utara), Mandala Tengah (Sabuk Metamorfik Sulawesi Tengah), Mandala Timur (Sabuk Ofiolit Sulawesi Timur) dan Fragmen Benua Banggai-Sula dan Tukang Besi.

1. Mandala Barat (Busur Plutonik-Vulkanik Sulawesi Barat dan Utara)

Mandala barat memanjang dari lengan utara sampai dengan lengan selatan pulau Sulawesi. Secara umum busur ini terdiri dari batuan vulkanik-plutonik berusia Paleogen-Kuarter dengan batuan sedimen berusia mesozoikum-tercier dan batuan malihan. Van Leeuwen (1994) menyebutkan bahwa mandala barat sebagai busur magmatik dapat dibedakan menjadi dua, yaitu bagian utara dan barat. Bagian utara memanjang dari Buol sampai sekitar Manado, dan bagian barat dari Buol sampai sekitar Makassar. Batuan bagian utara bersifat riodasitik sampai andesitik, terbentuk pada Miosen - Resen dengan batuan dasar basaltik yang terbentuk pada Eosen - Oligosen. Busur magmatik bagian barat mempunyai batuan penyusun lebih bersifat kontinen yang terdiri atas batuan gunung api - sedimen berumur Mesozoikum - Kuarter dan batuan malihan berumur Kapur. Batuan tersebut diterobos granitoid bersusunan terutama granodioritik sampai granitik yang berupa batolit, stok, dan retas.

2. Mandala Tengah (Sabuk Metamorfik Sulawesi Tengah)

Batuan magmatik *potassic calc-alkaline* berusia akhir Miosen di Sulawesi Tengah terdapat di bagian kiri bentangan zona sesar Palu Koro, dimana batuan granit di wilayah tersebut berkorelasi dengan subduksi

microcontinent Banggai-Sula dengan Pulau Sulawesi pada pertengahan Miosen. Berdasarkan aspek petrografi, batuan granit berumur Neogen tersebut dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok dari yang paling tua sampai dengan yang termuda untuk melihat karakteristik perubahannya di masa mendatang.

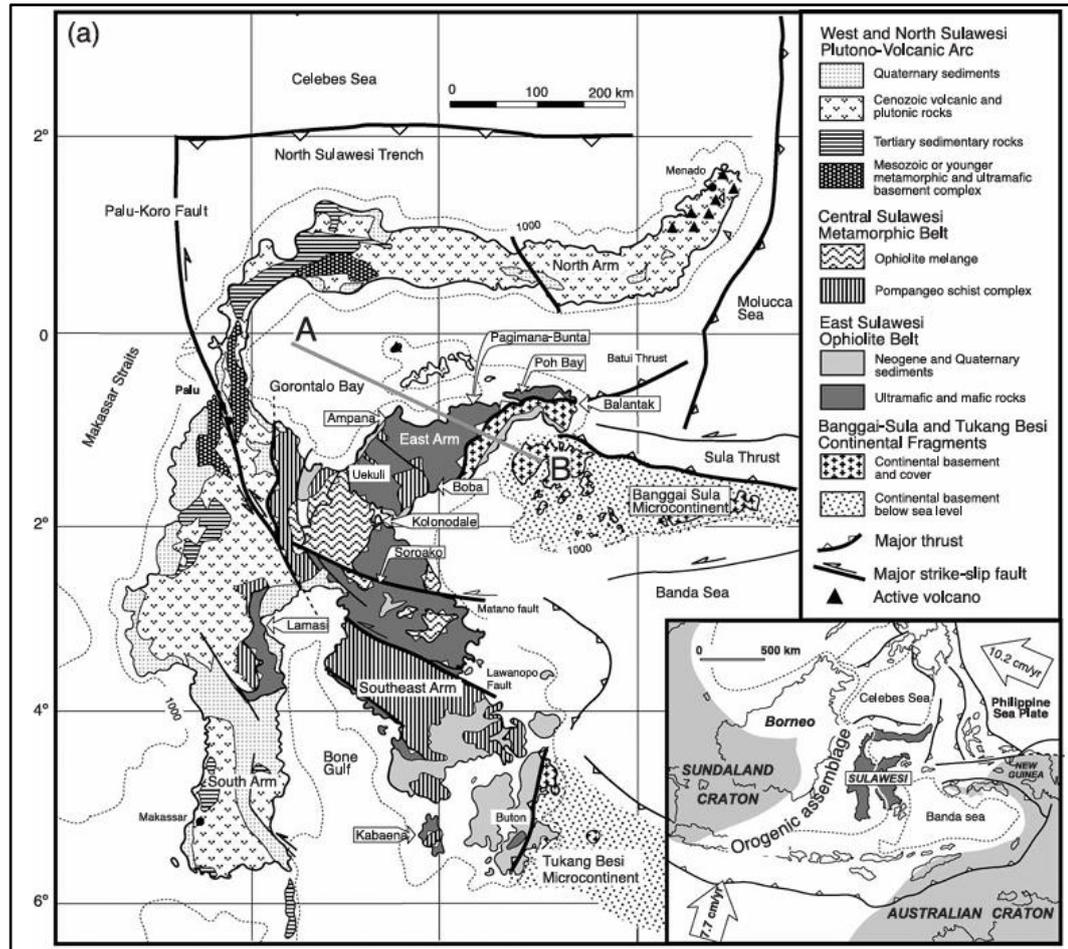
3. Mandala Timur (Sabuk Ofiolit Sulawesi Timur)

Sabuk ini terdiri atas batuan-batuan mafik dan ultramafik disertai batuan sedimen pelagis dan melange di beberapa tempat. Batuan ultramafik dominan di Lengan Tenggara, tetapi batuan mafiknya dominan lebih jauh ke utara, terutama di sepanjang pantai utara Lengan Tenggara Sulawesi. Sekuens ofiolit yang lengkap terdapat di Lengan Timur, meliputi batuan mafik dan ultramafik, pillow lava dan batuan sedimen pelagis yang didominasi *limestone* laut dalam serta interkalasi rijang berlapis. Berdasarkan data geokimia sabuk Ofiolit Sulawesi Timur ini diperkirakan berasal dari *mid-oceanic ridge*.

4. Fragmen Benua Banggai-Sula dan Tukang Besi.

Fragmen benua Banggai-Sula dan Tukang Besi di wilayah Sulawesi bersama-sama dengan area Sulawesi tengah dan tenggara diyakini berasal dari bagian benua Australia utara. Daratan ini di masa Jurassic bergerak ke timur laut memisahkan diri dari Australia ke posisi sekarang.

Secara fisiografi, daerah penelitian berada pada Sabuk Ofiolit Sulawesi Timur (*East Ophiolite Belt*) yang memiliki luas 700 km² dari utara ke selatan dan tersingkap lebih dari 15.000 km². Batuan ultramafik banyak ditemukan pada Sabuk Ofiolit ini, di antaranya lherzolit, harzburgit, dan peridotit, dengan beberapa dunit dan piroksinit. Selain itu, ada dua litologi lain yang terjadi di sekitar kompleks batuan ultramafik ini, yaitu batuan sedimen aluvial dan batuan sedimen berumur Kuartar dan Kapur (Kadariusman dkk., 2004). Lokasi penelitian terletak di lengan tenggara Sulawesi yang secara dominan tersusun oleh batuan Ultramafik yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Fisiografi Pulau Sulawesi (Hall dan Wilson, 2000)

Geologi regional pada daerah penelitian di IUP PT Graha Mining Utama termasuk kedalam Peta Geologi Regional Lembar Bungku yang dibuat oleh T.O Simandjuntak dkk., (1993).

2.1.1 Geomorfologi

Morfologi di daerah Lembar Bungku dapat dibagi menjadi lima satuan, yakni dataran rendah, dataran menengah, perbukitan menggelombang, karst, dan pegunungan. Morfologi dataran rendah umumnya mempunyai ketinggian antara 0 dan 50 m di atas muka laut. Dataran ini menempati daerah sepanjang pantai timur Lembar, kecuali pantai dekat desa Todua, Tabo dan Lalompe. Batuan penyusunnya terdiri atas endapan sungai, pantai dan rawa. Morfologi perbukitan menggelombang, berketinggian antara 100 dan 400 m di atas muka laut. Perbukitan ini menempati daerah antara S. Ongkaya dan S. Bulu Mbelu, sebelah utara Peg. Verbeek, sekitar daerah Lamona, sekitar daerah Bahu Mahoni, sekitar Kampung Tabo serta di sekitar Bulu Talowa. Batuan penyusun perbukitan ini ialah batuan sedimen dan Formasi

Tomata. Morfologi karst, memiliki ketinggian antara 400 dan 800 m di atas muka laut, dicirikan oleh adanya pebukitan kasar, sungai bawah tanah dan dolina. Pebukitan karst meliputi daerah S. Ongkaya, S. Tetambahu, antara S. Bahu Mbelu dan S. Wata, antara S. Ambuno ke arah tenggara sampai sekitar G. Wahombaja, serta daerah pebukitan selatan membentang dan Peg. Wawoombu di barat sampai Peg. Lalompa di timur. Daerah pebukitan kras ditempati oleh batuan karbonat dan Formasi-formasi Tokala, Matano dan Salodik. Morfologi Pegunungan, umumnya ditempati oleh batuan ultramafik, berketinggian lebih dan 700 m di atas muka laut. Daerah pegunungan ini menempati lebih dan separuh daerah Lembar, yakni pegunungan sekitar punggung pemisah air Bulu Karoni yang ke arah barat laut-tenggara, serta punggung pemisah air Wawoombu yang arahnya barat daya-timur laut. Puncak-puncaknya antara lain Bulu Lampesu (1068) dan Bulu Karoni (1422).

Pola aliran sungai umumnya meranting. Beberapa sungai memiliki pola hampir sejajar, yaitu S. Bahudopi, S. Bahumahoni dan S. Wosu. Sungai-sungai yang terletak di sebelah timur punggung pemisah air Bum Karoni, mengalir ke arah timur dan bermuara di Teluk Tolo; yang terletak di sebelah barat punggung pemisah air Bulu Karoni dan Wawoombu mengalir ke arah barat dan bermuara di Danau Towuti. Sedangkan sungai yang terletak antara punggung pemisah air Wawoombu dan Bulu Karoni mengalir ke arah selatan dan bermuara di Teluk Tolo dekat Kendari di luar Lembar Bungku.

2.1.2 Stratigrafi

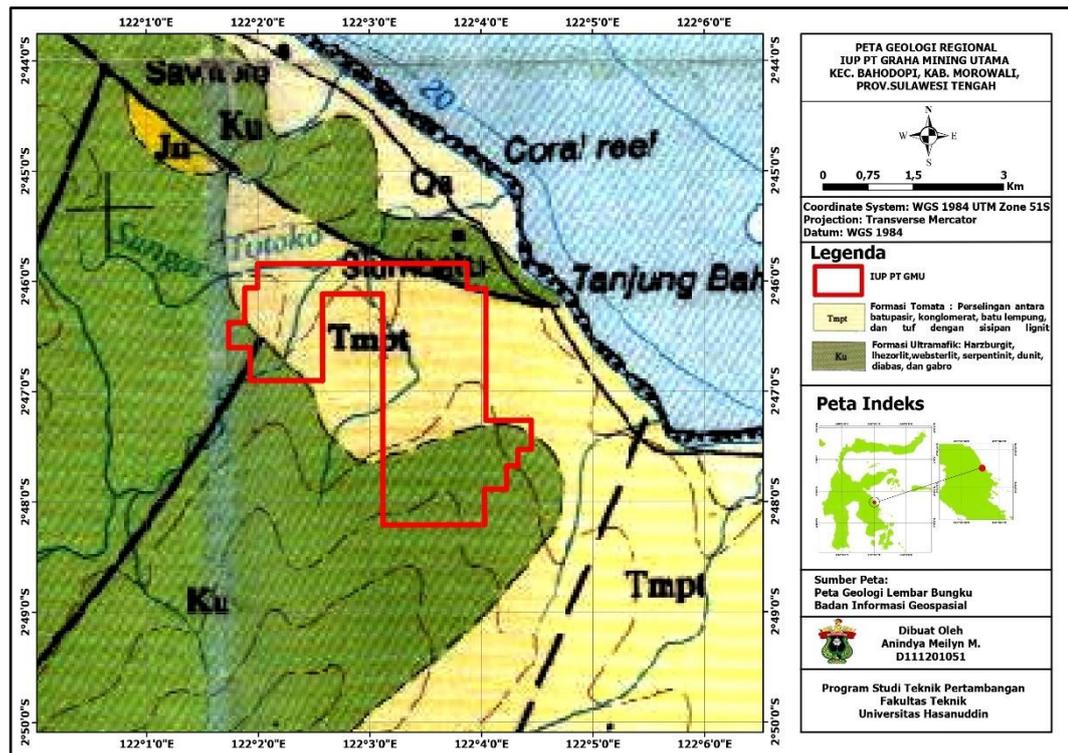
Satuan batuan di Lembar Bungku dapat dikelompokkan dan ditempatkan dalam dua mendala, yaitu Mendala Banggai-Sula dan Mendala Sulawesi Timur (Sukanto, 1975).

1. Mendala Banggai-Sula meliputi Formasi Tokala (TRJt) terdiri atas batugamping klastika dengan sisipan batupasir sela, diduga berumur Trias - Jura Awal. Formasi Tokala ditindih secara selaras oleh Formasi Nanaka (Jn) yang terdiri atas konglomerat, batupasir kuarsa mikaa, serpih dan lensa batubara yang diperkirakan berumur 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 kalsilit, batugamping pasir dan batupasir.

2. Mendala Sulawesi Timur meliputi Kompleks Ultramafik (Ku) yang sampai saat ini umumnya masih dianggap yang paling tua. Batuannya terdiri dari harzburgit, lherzolit, wehrlit, websterlit, serpentinit, dunit dan gabro. Secara tektonik Kompleks Ultramafik menindih satuan batuanendala Sulawesi Timur meliputi Kompleks Ultramafik (Ku) yang sampai saat ini umumnya masih dianggap yang paling tua. Batuannya terdiri dari harzburgit, lherzolit, wehrlit, websterlit, serpentinit, dunit dan gabro. Secara tektonik Kompleks Ultramafik menindih satuan batuan.

Geologi regional daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 2, terdapat dua formasi batuan yang termasuk kedalam daerah penelitian, yaitu Formasi Tomata (Tmpt) dan Batuan Ultramafik (Ku). Formasi batuan Kompleks Ultramafik (Ku) ini diindikasikan sebagai batuan pembawa Ni pada daerah penelitian. Berdasarkan geologi regional formasi batuan Tomata pada daerah penelitian memiliki luas 714 Ha (68.05 %) dan formasi batuan Kompleks Ultramafik seluas 388 Ha (31.95%) dari total lokasi IUP PT Graha Mining Utama.

Kompleks Ultramafik (KU) terdiri atas batuan beku yang bersifat ultrabasa yaitu harzburgit, lherzolit, wehrlit, websterit, serpentinit, dunit, diabas dan gabro. Formasi Tomata (Tmpt) memiliki perselingan batupasir konglomerat, batulempung, dan tuf dengan sisipan lignit. Formasi ini pada bagian atas disusun oleh batuan klastika kasar dan pada bagian bawah disusun oleh batuan klastika halus. satuan ini di bagian atas lebih dikuasai oleh batuan klastika kasar, di bagian bawah dikuasai oleh klastika halus. Sebarannya meliputi daerah selatan Desa Tanoa, Bahu Mbelu dan dekat Desa Sawogi, Lamona, Bahu Mahoni, sepanjang S. Bahodopi, dan daerah sebelah barat Bulu Warungkelewat. Tebal satuan sekitar 1000 m. Ciri litologi satuan sama dengan Molasa Sulawesi Sarasin dan Sarasin (1901). Nama Formasi Tomata berasal dari Desa Tomata (Lembar Malili) tempat diketemukannya singkapan yang baik.



Gambar 2 *Cropped* peta geologi regional daerah penelitian (dimodifikasi dari Simandjuntak dkk, 1993)

2.2 Endapan Nikel Laterit

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

Deposit nikel di dunia dapat diklasifikasikan dalam dua kelompok, yaitu bijih sulfida dan bijih laterit terbagi menjadi tiga, yaitu oksida, silikat, dan *clay*. Sebesar 72% cadangan nikel dunia merupakan nikel laterit dan 42% dari cadangan tersebut yang diproduksi. Meskipun dari 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 maupun subtropis yang terbentuk dari hasil pelapukan batuan ultramafik yang mengandung zat besi dan magnesium dengan kadar yang tinggi. Deposit nikel laterit berkadar antara 1,0-

1,5%. Endapan nikel laterit dengan kadar nikel 0,6-1,5% dengan tonase yang jauh lebih besar (Yilidrim dkk., 2012).

Endapan nikel laterit diartikan sebagai hasil dari proses pelapukan yang intensif di daerah humid, *warm*, maupun *tropic* dan kaya akan mineral lempung yang bersifat *kaolinic* serta Fe^- dan Al^- atau *hydroxyde*. Endapan nikel laterit pada umumnya menampakkan 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 merupakan jenis tanah yang umum dijumpai pada daerah tropis dan subtropis. Laterit sendiri berasal dari bahasa latin yaitu "*later*" yang berarti batu bata. Umumnya laterit memiliki kandungan silika yang rendah, bersifat asam dan membentuk profil yang terdiri atas beberapa lapisan atau zona. Tanah ini dianggap kurang subur sehingga tidak diperuntukkan sebagai lahan pertanian. Namun, tanah laterit umumnya kaya akan logam ekonomis antara lain Al, Fe, Ni, Co, dan Cr (Hasria dan Septiana, 2024).

Menurut Elias (2002) laterisasi merupakan proses pembentukan endapan nikel laterit yang melibatkan pemecahan mineral primer dan melepaskan beberapa komponen kimia tidak bergerak atau larut serta pembentukan mineral baru yang lebih stabil pada lingkungan pelapukan. Sedangkan Gleeson, *et. al* (2003) menyebutkan bahwa endapan nikel laterit terbentuk oleh pelapukan yang meluas dan berkepanjangan pada batuan ultramafik yang mengandung Ni silikat yang pada umumnya proses pembentukan endapan nikel laterit ini terjadi pada daerah yang memiliki iklim tropis hingga subtropis. Golightly (1981) memberikan definisi endapan nikel laterit sebagai produk dari laterisasi yang terjadi pada batuan kaya magnesium (*Mg-rich*) atau batuan ultramafik yang memiliki kandungan nikel 0,2-0,4 %.

2.2.1 Genesis Endapan Nikel Laterit

Endapan nikel laterit merupakan salah satu bahan galian yang memiliki nilai ekonomis yang tinggi jika dijumpai dalam cadangan yang besar dengan kadar tinggi atau *high grade* (Raivel dan Firman, 2020). Laterit merupakan produk residu dari batuan yang mengalami pelapukan pada permukaan bumi, yang mengakibatkan beberapa mineral primer yang tidak stabil dengan keberadaan air akan larut atau

hancur dan mineral baru yang lebih stabil akan terbentuk. Proses laterisasi pada beberapa kasus akan mengakibatkan terkonsentrasinya beberapa unsur, salah satunya yaitu mineral logam nikel (Hasria dan Septiana, 2024).

Proses laterisasi pada dasarnya adalah pelapukan kimiawi yang terjadi pada iklim lembab musiman dalam jangka waktu yang lama dalam kondisi stabilitas tektonik yang relatif stabil, yang memungkinkan terbentuknya regolit atau material hasil lapukan yang tebal dengan karakteristik yang khas (Butt dan Zeegers, 1992). Secara ringkas, proses laterisasi melibatkan pemecahan mineral primer dan pelepasan beberapa komponen kimianya ke dalam air tanah, pelindian komponen yang dapat bergerak, konsentrasi residu komponen yang tidak stabil dalam lingkungan pelapukan. Efek bersih dari transformasi mineral dan mobilitas diferensial unsur-unsur yang terlibat menghasilkan mantel berlapis atau berlapis-lapis dari bahan lapuk di atas batuan induk tempat terbentuknya, yang umumnya disebut sebagai profil laterit (Elias, 2002).

Pada proses laterisasi, lapisan paling bawah mencerminkan tahap awal pelapukan batuan dasar, dan setiap lapisan di atasnya merupakan transformasi dari lapisan di bawahnya, yang menunjukkan tahap-tahap proses yang semakin maju. Pada bagian paling bawah dari profil yaitu batuan dasar, pelapukan terjadi pada kontak antar mineral dan pada batas-batas rekahan serta terdapat banyak batuan segar dan sedikit produk ubahan. Lebih jauh ke atas profil, proporsi mineral primer yang masih menurun, dan lapisan rekahan yang lebih kuat sepenuhnya berubah yang pada akhirnya menyisakan batu-batu besar yang terpisah dari batuan besar yang terpisah dari batuan dasar yang utuh mengambang dalam campuran mineral primer dan mineral ubahan di mana struktur batuan primer tetap terjaga (saprolit). Lapisan yang lebih tinggi sepenuhnya terdiri dari mineral ubahan, dan ditandai dengan hilangnya struktur batuan primer (Butt dan Zeegers, 1992).

Endapan nikel laterit terbentuk dalam periode waktu yang lama dan dipengaruhi oleh berbagai faktor. Elias (2002) menyebutkan bahwa terdapat beberapa faktor yang mengatur serta mengontrol proses laterisasi pada batuan ultramafik. Faktor-faktor ini mempengaruhi ketebalan, komposisi kimia dan mineral serta pengembangan setiap zona pada profil endapan nikel laterit serta

pengembangan setiap zona pada profil endapan nikel laterit. Faktor-faktor tersebut antara lain (Ahmad, 2001; Elias, 2002):

1. Iklim

Endapan nikel laterit terbentuk akibat dari proses pelapukan yang terjadi pada batuan ultramafik. Thorne dkk., (2012) menyebutkan bahwa kondisi iklim yang mendukung pembentukan endapan nikel laterit adalah daerah yang menerima curah hujan > 1000 mm/tahun dengan temperatur rata-rata 15-31°C dengan iklim subtropis atau tropis. Jumlah air yang jatuh ke tanah akan mempengaruhi intensitas pencucian dan penghilangan dari komponen terlarut. Selain itu efektivitas atau kecepatan air menyerap (*run off*) juga mempengaruhi perkembangan endapan nikel laterit. Hasria dan Septiana (2024) menyebutkan bahwa faktor iklim lainnya adalah kelembaban udara yang tinggi yang dapat mendukung pembentukan endapan nikel laterit dengan meningkatkan mobilitas air dalam tanah. Proses hidrasi dan hidroksilasi dari unsur nikel dapat lebih efisien di lingkungan yang lembab.

2. Topografi

Relief dan *slope* (kemiringan lereng) suatu daerah akan mempengaruhi proses penyerapan air yang terjadi. Semakin tinggi sudut kemiringan lereng dan semakin curam relief daerah tersebut, maka air akan mengalir semakin cepat sehingga proses pelapukan batuan dasar di daerah tersebut akan semakin rendah sehingga profil endapan nikel laterit yang terbentuk akan semakin tipis. Hal sebaliknya terjadi pada daerah dengan kemiringan lereng yang rendah serta relief yang relatif landai. Pada daerah ini, air akan mengalir lebih lambat sehingga proses penetrasi air berlangsung lebih maksimal dan akan menghasilkan profil endapan nikel laterit yang lebih tebal. Menurut Golightly (1981) pengkayaan nikel umumnya terjadi pada daerah perbukitan atau lereng dengan kemiringan sedang dimana terdapat rekahan yang relatif kuat atau rekahan yang dengan jarak yang berdekatan sehingga dapat menyebabkan proses pencucian yang turun ke bawah.

Klasifikasi Van Zuidam (1985) merupakan klasifikasi yang umum digunakan dalam menentukan relief suatu daerah berdasarkan sudut kemiringan (*slope*) dan persen lereng yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Klasifikasi kemiringan lereng

No	Kemiringan Lereng (%)	Satuan	Kemiringan Lereng (°)
1	0-2	Datar	0-2
2	2-7	Bergelombang/miring landai	2-4
3	7-15	Bergelombang/miring	4-8
4	15-30	Berbukit bergelombang/miring	8-16
5	30-70	Berbukit tersayat tajam/terjal	16-35
6	70-140	Pegunungan tersayat tajam	35-55
7	>140	Pegunungan curam	>55

Sumber: Van Zuidam (1985)

3. Jenis Batuan Induk

Batuan dasar dari endapan nikel laterit adalahh batuan ultramafik yang memiliki kandungan Ni primer yaitu 0,2-0,4 % (Golightly, 1981). Batuan ultramafik yang umum dijumpai sebagai batuan dasar dari endapan nikel laterit adalah dunit, harzburgit dan periodotit yang hadir pada Kompleks Ofiolit, serta sebagian kecil komatit dan lapisan intrusi batuan mafik-ultramafik pada *setting platform* kratonik (Brand dkk., 1998). Batuan dasar merupakan salah satu kunci dalam pembentukan endapan nikel laterit. Hal ini dikarenakan endapan nikel laterit terbentuk melalui serangkaian proses geologis yang melibatkan batuan dasar.

4. Struktur geologi

Kehadiran struktur geologi berupa kekar dan sesar pada batuan dasar merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi perkembangan ketebalan endapan nikel laterit yang terbentuk. Rekahan pada batuan dapat menjadi jalur masuknya air ke bawah permukaan sehingga dapat mempercepat dan memaksimalkan proses laterisasi yang terjadi. Struktur geologi disebabkan oleh proses tektonik, struktur yang paling umum dijumpai adalah kekar berupa kekar gerus dan kekar tarik.

5. Reagen Kimia dan Vegetasi

Reagen-reagen kimia adalah unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang membantu mempercepat proses pelapukan. Air tanah yang mengandung CO₂ memegang peranan penting di dalam proses pelapukan kimia. Asam-asam humus menyebabkan komposisi batuan dan dapat merubah pH larutan. Asam-asam humus erat kaitannya dengan vegetasi daerah. Dalam

hal ini, vegetasi akan melibatkan penetrasi air dapat lebih dalam dan lebih mudah dengan mengikuti jalur akar-akar pohon, akumulasi air hujan akan lebih banyak dan humus akan lebih tebal. Keadaan ini merupakan suatu petunjuk, di mana hutannya lebat pada lingkungan yang baik akan terdapat endapan nikel yang lebih tebal dengan kadar yang lebih tinggi (Isjudarto, 2013).

2.2.2 Profil Endapan Nikel Laterit

Profil endapan nikel laterit merupakan gambaran dari proses laterisasi yang telah berlangsung, dimana paling bawah mencerminkan tahap awal dari proses pelapukan batuan dan semakin ke atas menunjukkan proses laterisasi yang terus berkembang, proporsi mineral primer yang semakin menurun dan zona rekahan yang semakin kuat. Elias (2002) memberikan penjelasan untuk setiap profil endapan nikel laterit (Gambar 3) sebagai berikut:

1. Zona Limonit

Zona ini merupakan zona yang berada dekat dengan permukaan dan didominasi oleh mineral goetit dan hematit. Mineral yang tidak larut seperti spinel, magnetit, hematit dan talk primer bertahan pada zona ini. Dasar zona ini diperkaya oleh mangan, kobalt, dan nikel dalam bentuk gumpalan asbolit atau mangan. Pada zona ini, struktur dan tekstur dari batuan asalnya telah rusak dan hilang sepenuhnya.

2. Zona Saprolit

Proporsi mineral primer pada zona ini semakin menurun dan zona rekahan pada batuan yang semakin kiat menyebabkan terjadinya alterasi yang intensif pada batuan. Menurut Ahmad (2001) pada zona ini pelapukan kimia berlangsung paling aktif dan banyaknya rekahan pada batuan mempercepat terjadinya pelapukan. Pada zona ini, tekstur dan struktur dari batuan induk terpelihara dengan baik. Zona ini terdiri dari pecahan batuan dasar, kuarsa dan garnierit yang diendapkan serta menjadi zona pengkayaan nikel.

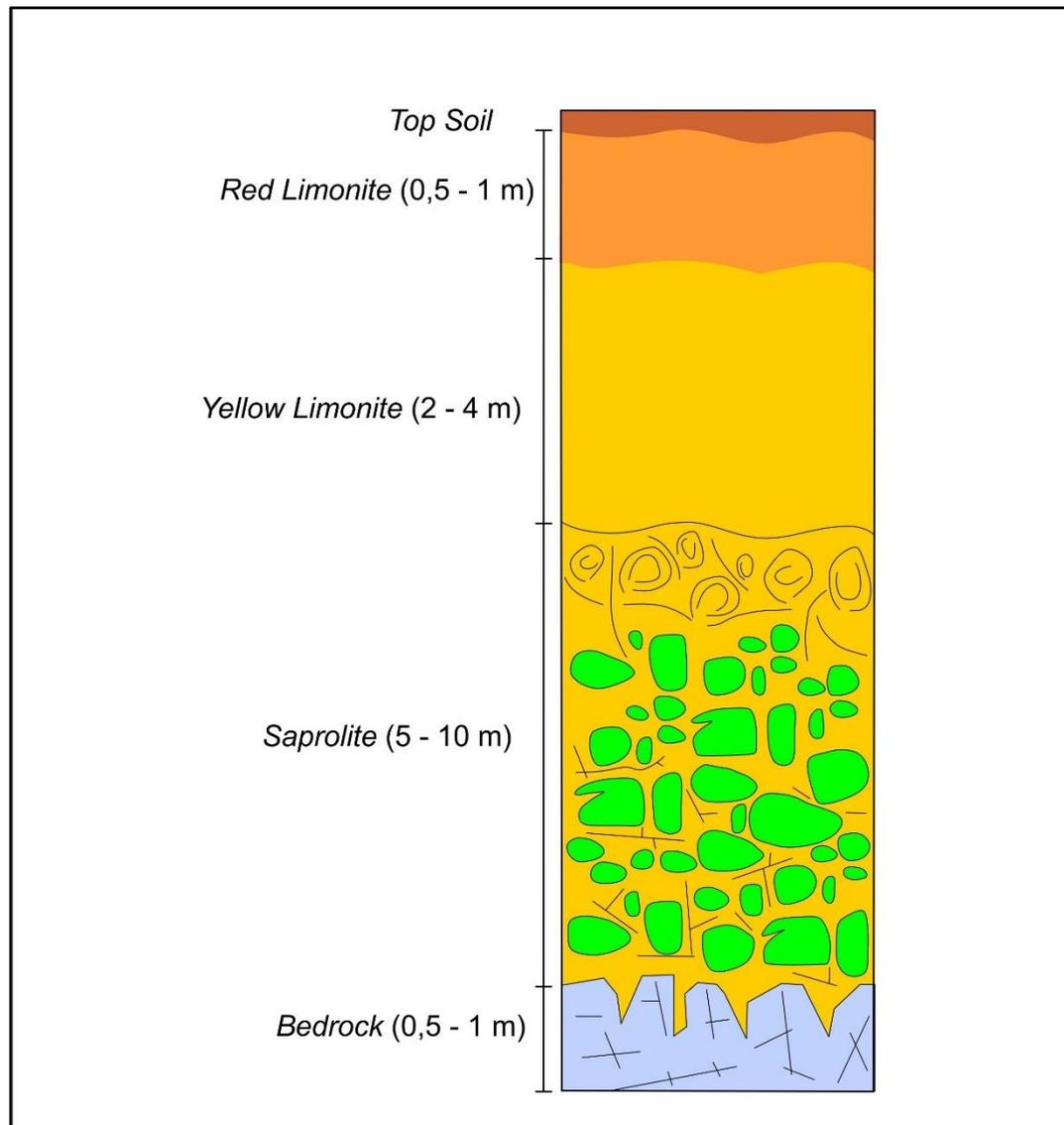
3. Zona *Saprock*

Zona ini merupakan zona yang banyak terdapat batuan segar dan sedikit produk alterasi karena pada zona ini terjadi pelapukan pada kontak antara mineral dan batas rekahan.

4. Zona *Bedrock*

Zona *bedrock* atau batuan dasar merupakan lapisan paling bawah dimana menunjukkan tahap awal dari pelapukan batuan yang terjadi. Batuan dasar dari endapan nikel laterit merupakan batuan ultramafik.

Golightly (1981) menyebutkan bahwa pada profil endapan nikel laterit umumnya terdapat empat zona yang hadir dan tidak mengalami erosi, yaitu zona paling atas yang terdiri limonit dan ferikrit, zona limonit, zona intermediet yang terdiri atas nontronit (Fe-smektit) atau *silica boxwork*, dan zona saprolit. Profil endapan nikel laterit yang tidak memiliki zona intermediet merupakan karakteristik yang menunjukkan bahwa laterit terbentuk di daerah katulistiwa yang lembab atau daerah lainnya yang memiliki curah hujan yang sangat tinggi dan musim kemarau yang lebih pendek. Hal ini mungkin terjadi akibat proses pencucian yang efisien tanpa mencapai kondisi jenuh untuk smektit di zona saprolit. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Langkoke (2023) di daerah Waturambaha, Kecamatan Lasolo Kepulauan menyebutkan bahwa profil endapan nikel laterit yang terbentuk adalah zona *top soil*, zona limonit (yang selanjutnya dibagi menjadi *red limonite* dan *yellow limonite*), zona saprolit dan *bedrock*.



Gambar 3 Profil endapan nikel laterit (dimodifikasi dari Langkoke, 2023)