

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel merupakan salah satu komoditas mineral strategis yang memiliki peran penting dalam industri modern, khususnya sebagai bahan baku utama pembuatan *stainless steel* dan komponen baterai kendaraan listrik. Indonesia, khususnya Sulawesi Tenggara, dikenal sebagai salah satu wilayah dengan potensi endapan nikel laterit yang besar, dan PT. Ceria Nugraha Indotama merupakan salah satu perusahaan yang melakukan kegiatan eksplorasi serta penambangan nikel laterit di Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara.

Endapan nikel laterit terbentuk melalui proses pelapukan batuan ultrabasa yang menghasilkan profil vertikal berlapis, dengan zona utama pembawa nikel pada lapisan limonit dan saprolit. Pada sistem laterit, distribusi kadar nikel di dalam tubuh laterit bersifat heterogen sehingga diperlukan pendekatan estimasi spasial untuk memahami pola penyebaran kadar secara lebih representatif. Dalam penentuan potensi ekonomis suatu blok tambang, *Cut Off Grade* (CoG) menjadi parameter kunci, dan CoG 1,40% Ni digunakan sebagai batas minimum kadar yang dapat ditambang secara ekonomis.

Secara teknis di Pit X, tantangan utama analisis sebaran kadar dan ketebalan bijih berasal dari keterbatasan dan karakteristik data pengeboran. Penelitian ini hanya didukung oleh interpolasi dari 17 titik bor, sehingga kepadatan data relatif terbatas dan berpotensi menimbulkan ketidakpastian pada pemodelan sebaran spasial, terutama bila sebaran titik bor tidak merata dan variasi kadar bersifat lokal/heterogen. Selain itu, data assay yang digunakan cukup rinci (interval per meter) dengan total 616 data dari 17 titik bor, namun jumlah titik bor yang terbatas tetap menjadi faktor pembatas dalam ketelitian interpretasi spasial. Kondisi ini menegaskan adanya gap ilmiah pada skala pit operasional: diperlukan pendekatan interpolasi yang tetap dapat bekerja pada data terbatas, namun memiliki kontrol parameter yang jelas agar hasil estimasi tidak sekadar deskriptif umum, melainkan mampu menjawab kebutuhan teknis Pit X terkait penentuan zona bijih yang memenuhi CoG serta ketebalan minimum operasional.

Untuk mengidentifikasi pola distribusi kadar nikel pada suatu area penelitian, salah satu metode yang digunakan adalah interpolasi *Inverse Distance Weighted* (IDW). Metode ini bekerja berdasarkan prinsip bahwa sampel yang lebih dekat memiliki pengaruh lebih besar dibanding sampel yang lebih jauh, dan kelebihanannya adalah karakteristik interpolasi dapat dikontrol dengan membatasi titik masukan yang digunakan dalam proses interpolasi. Pemilihan IDW dalam konteks penelitian ini juga relevan karena pada metode IDW, nilai power sangat mempengaruhi hasil interpolasi; semakin tinggi pangkat (power) yang digunakan, hasil taksiran cenderung mendekati pendekatan conto terdekat/poligon, sehingga kontrol parameter menjadi aspek metodologis yang penting untuk dijelaskan.

Dibandingkan kriging yang umumnya memerlukan pemodelan variogram dan data yang lebih memadai untuk menghasilkan model spasial yang stabil, IDW lebih operasional untuk kondisi data terbatas karena tidak mensyaratkan variogram dan dapat langsung diterapkan dengan kontrol parameter. Namun, IDW juga memiliki keterbatasan: untuk memperoleh hasil yang baik, sampel data seharusnya relatif rapat mengikuti

variasi lokal; apabila sampel jarang dan tidak merata, hasil interpolasi berpotensi tidak sesuai dengan kondisi yang diharapkan. Oleh karena itu, pada Pit X, urgensi teknis penelitian ini terletak pada kebutuhan perusahaan terhadap cadangan bijih Ni sekaligus kebutuhan pemetaan sebaran spasial Ni dan ketebalan yang memenuhi CoG 1,40% secara lebih terukur untuk mendukung interpretasi geologi dan perencanaan tambang.

Pemanfaatan teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG), khususnya ArcGIS, mendukung integrasi data bor (collar, survey, lithology, dan assay) menjadi peta sebaran kadar yang divisualisasikan secara spasial sehingga mempermudah interpretasi geologi, estimasi, dan perencanaan tambang yang lebih efektif. Dalam penelitian ini, IDW diaplikasikan pada skala Pit X untuk menganalisis penyebaran Ni serta ketebalan bijih pada batas CoG 1,40%, dengan penekanan pada kontrol parameter interpolasi agar hasil estimasi lebih dapat dipertanggungjawabkan secara teknis pada kondisi data terbatas.

Penelitian ini dilakukan atas data pengeboran dan sumber data dari PT. Ceria Nugraha Indotama karena memerlukan cadangan bijih Ni untuk memenuhi kualitas produksi nikel Indonesia. Oleh karena itu, penulis mengambil judul “**Analisis Penyebaran Ni Cut Off Grade (CoG) 1.40% Menggunakan Metode Inverse Distance Weighted (IDW) pada Pit X PT. Ceria Nugraha Indotama, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara**” dilakukan untuk mengetahui sebaran kadar nikel dan mengidentifikasi zona potensial yang memenuhi batas kadar ekonomis.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana profil laterit berdasarkan hasil pengeboran daerah penelitian?
2. Bagaimana rata-rata kadar Ni dan ketebalannya berdasarkan (*Cut Off Grade* 1.40%) ?
3. Bagaimana penyebaran Ni dan ketebalannya menggunakan metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui profil laterit berdasarkan hasil pengeboran di daerah penelitian
2. Menentukan rata-rata kadar Ni dan ketebalannya berdasarkan (*Cut Off Grade* 1.40%)
3. Menganalisis penyebaran Ni dan ketebalannya dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weighted* (IDW)

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, penulis membatasi permasalahan yang dikaji meliputi identifikasi profil laterit, penyusunan penampang profil endapan laterit, perhitungan rata-rata kadar Ni, serta interpretasi pola penyebaran kadar Ni dan ketebalannya menggunakan metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) pada Pit X PT. Ceria Nugraha Indotama, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara.

Untuk menjaga konsistensi ruang lingkup serta menegaskan keterbatasan metodologi, penelitian ini tidak mencakup klasifikasi sumber daya (*resource classification*) berdasarkan standar pelaporan seperti JORC atau KCMI, tidak melakukan validasi silang (*cross validation*) terhadap hasil interpolasi, serta tidak melakukan perbandingan kuantitatif dengan metode interpolasi lainnya seperti *kriging* maupun *natural neighbor*.

Selain itu, penelitian ini juga tidak melakukan pemodelan variogram sebagaimana diperlukan dalam pendekatan geostatistik. Oleh karena itu, hasil yang diperoleh difokuskan pada analisis sebaran spasial kadar Ni dan ketebalan bijih pada skala pit berdasarkan data yang tersedia.

Keterbatasan data, khususnya belum tersedianya informasi cadangan secara spasial, menyebabkan penelitian ini lebih diarahkan pada optimalisasi penggunaan metode IDW dalam menginterpretasikan distribusi kadar Ni dan ketebalan bijih sebagai dasar awal evaluasi potensi sumber daya.

1.5 Manfaat Penelitian

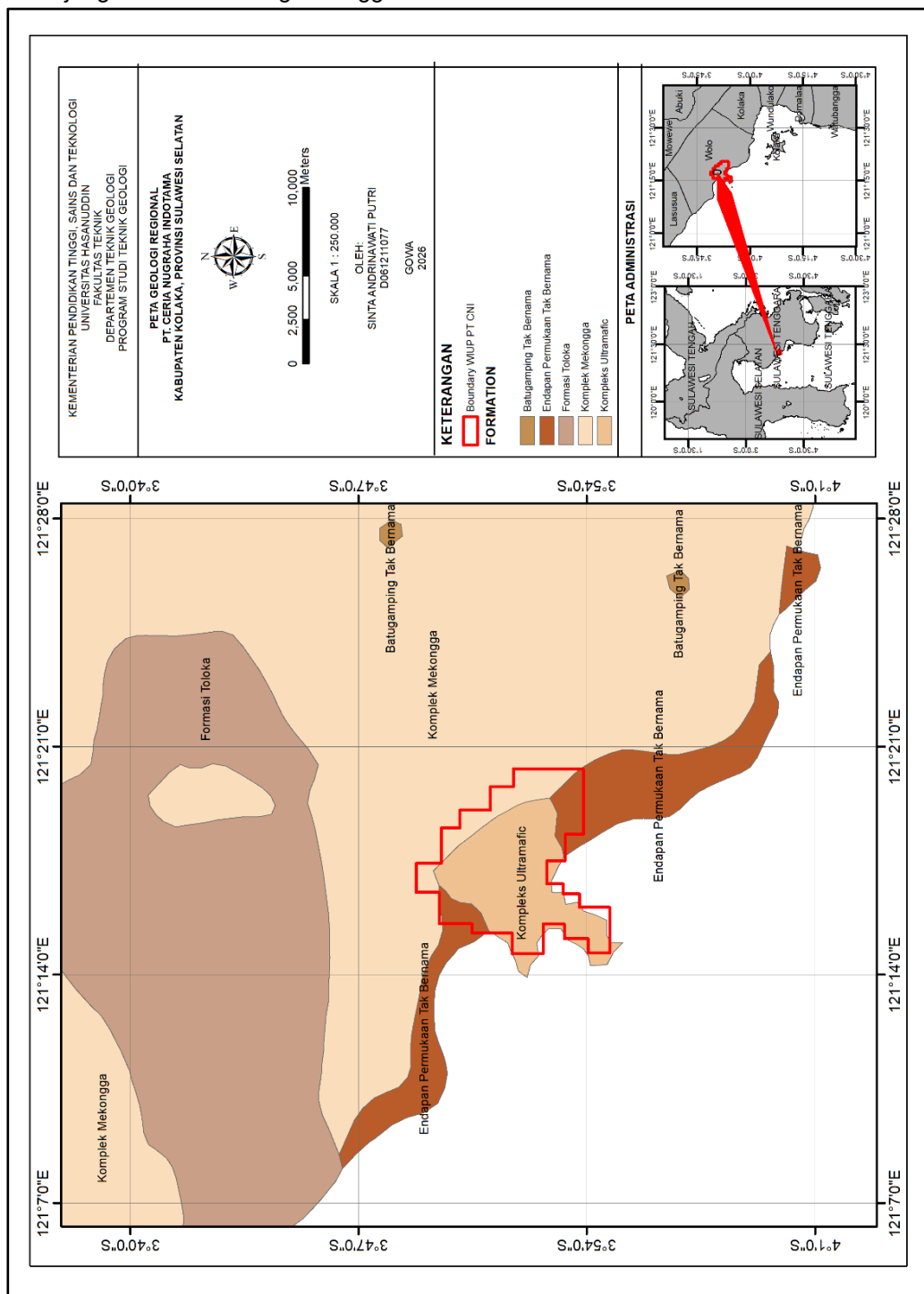
Manfaat dari penelitian ini secara umum adalah sebagai acuan dalam pelaksanaan tahapan eksplorasi hingga eksploitasi sumberdaya secara lebih efektif, serta sebagai sarana untuk mengaplikasikan teori-teori yang diperoleh di bangku perkuliahan ke dalam dunia kerja.

1.6 Kajian Teori

1.6.1 Geologi Regional

Daerah Penelitian termasuk dalam Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi Tenggara (Simandjuntak et al, 1993). Lengan Timur dan Lengan Tenggara Sulawesi tersusun atas batuan malihan, batuan sedimen penutupnya dan ofiolit yang terjadi dari hasil proses pengangkatan (*obduction*) selama Miosen. Jalur batuan malihan dan sedimen serta penutupnya tersebut sebagai mintakat benua, sedangkan batuan ofiolitnya merupakan lajur ofiolit Sulawesi Timur. Bagian Timur Sulawesi ini memanjang melalui ujung Timur Lengan Timur, sisi Timur bagian Tengah, dan Lengan Tenggara Sulawesi (Surono, 2013). Lengan Timur dan Lengan Tenggara Sulawesi tersusun atas batuan malihan, batuan sedimen penutupnya dan ofiolit yang terjadi dari hasil proses pengangkatan (*obduction*) selama Miosen. Sulawesi dan sekitarnya merupakan daerah yang kompleks karena merupakan tempat pertemuan tiga lempeng besar yaitu lempeng Indo-Australia yang bergerak ke arah utara, lempeng Pasifik yang bergerak ke arah barat dan lempeng Eurasia yang bergerak ke arah selatan-tenggara serta lempeng yang lebih kecil yaitu lempeng Filipina.

Van Bemmelen (1949) membagi lengan tenggara Sulawesi menjadi tiga bagian: ujung utara, bagian tengah, dan ujung selatan. Lembar Kolaka menempati bagian tengah dan ujung selatan dari lengan tenggara Sulawesi.



Gambar 1 Peta geologi lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi Tenggara (Simandjuntak et al, 1993)

1.6.2 Geomorfologi Regional

Daerah Penelitian termasuk dalam Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi Tenggara Pulau Sulawesi, yang mempunyai luas sekitar 172.000 km² (Van Bemmelen, 1949), dikelilingi oleh laut yang cukup dalam.

Van Bemmelen (1949) membagi lengan tenggara Sulawesi menjadi tiga bagian: ujung utara, bagian tengah, dan ujung selatan, ujung utara mulai dari Palopo sampai Teluk Tolo; dibentuk oleh batuan ofiolit, Bagian tengah, yang merupakan bagian paling lebar (sampai 162,5 km), didominasi oleh batuan malihan dan batuan sedimen Mesozoikum. Ujung selatan lengan tenggara merupakan bagian yang relatif lebih landai. batuan penyusunya didominasi oleh batuan sedimen tersier, uraian dibawah ini merupakan bagian morfologi dan morfogenesis lengan tengah Sulawesi.

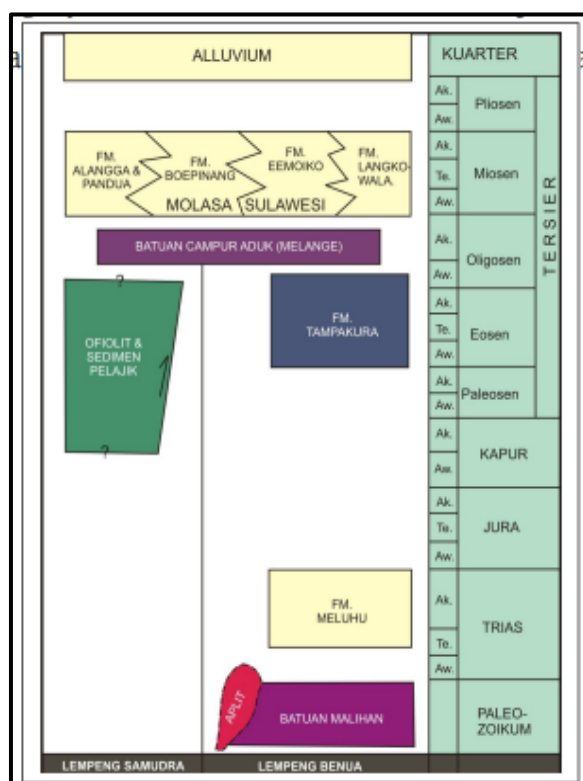
Ujung utara lengan tenggara Sulawesi mempunyai ciri khas dengan munculnya kompleks danau malili yang terdiri atas Danau Matano, Danau Towuti, dan tiga danau kecil di sekitarnya (Danau Mahalona, Danau Lantoa, dan Danau Masapi. Pembentukan kelima danau itu diduga akibat sistem sistem Sesar Matano, yang telah diketahui sebagai sesar geser mengiri. Perbedaan ketinggian dari kelima danau itu memungkinkan air dari suatu danau mengalir ke danau yang terletak lebih rendah.

1.6.3 Stratigrafi Regional

Daerah Penelitian termasuk dalam Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi Tenggara Pulau Sulawesi. Berdasarkan peta geologi Sulawesi (Hamilton, 1979), Lengan Tenggara Sulawesi secara umum disusun oleh batuan Lajur Metamorfik dan Batuan Kerak Samudra (Lajur Ofiolit). Selain itu Pengklasifikasin Batuan Penyusun lengan tenggara Sulawesi menurut (Rusmana dan Sukarna, 1993), Batuan Penyusun lengan tenggara Sulawesi dibagi menjadi 2 lajur yaitu :

- Lajur Tinondo, yang menempati bagian barat daya, yang dicirikan dengan batuan asal paparan benua yaitu batuan malihan paleozoikum dan diduga berumur Karbon.
- Lajur Hialu, yang menempati bagian timur laut yang tersusun dari himpunan batuan asal kerak samudra. Kedua lajur ini dipisahkan oleh Sesar Lasolo yang merupakan sesar geser. berdasarkan hasil penelitian terakhir yang dilakukan oleh (Surono, 2013)

Seperti yang tersaji dalam bukunya berjudul "Publikasi Khusus Geologi Lengan Tenggara Sulawesi" tahun 2012, batuan Penyusun Lengan tenggara Sulawesi terdiri dari kepingan benua yang dinamai Mintakat Benua Sulawesi tenggara dan mintakat Matarombeo, dimana kedua lempeng dari dari jenis yang berbeda ini bertabrakan pada Oligosen akhir-Miosen awal dan kemudian ditindih oleh endapan Molasa Sulawesi, yang terdiri atas batuan sedimen klastik dan karbonat, terendapkan selama akhir dan sesudah tumbukan, sehingga molasa menindih tak selaras Mintakat benua Sulawesi tenggara dan kompleks Ofiolit tersebut. Pada akhir Kenozoikum lengan ini dikoyak oleh Sesar Lawanopo dan beberapa pasanganya, termasuk Sesar Kolaka. Adapun stratigrafi regional Lengan Tenggara Sulawesi dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2 Stratigrafi Regional Lengan Tenggara Sulawesi (Simandjuntak et al, 1993)

1.6.4 Struktur Geologi Regional

Daerah Penelitian termasuk dalam Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi Tenggara Pulau Sulawesi. Pada lengan tenggara Sulawesi, struktur utama yang terbentuk setelah tumbukan adalah sesar geser mengiri, termasuk Sesar Matarombeo, sistem Sesar Lawanopo, sistem Sesar Konawe, Sesar Kolaka, dan banyak sesar lainnya serta liniasi. Sesar dan liniasi menunjukkan sepasang arah utama tenggara-barat laut (332°), dan timur laut barat daya (42°). Arah tenggara barat laut merupakan arah umum dari sesar geser mengiri di lengan tenggara Sulawesi.

Sistem sesar Lawanopo termasuk sesar-sesar berarah utama barat laut-tenggara yang memanjang sekitar 260 Km dari utara Malili sampai Tanjung Toronipa. Ujung barat laut sesar ini menyambung dengan sesar Matano, sementara ujung tenggaranya bersambung dengan sesar Hamilton yang memotong sesar naik Tolo. Sistem sesar ini diberi nama sesar Lawanopo oleh Hamilton (1979) berdasarkan dataran Lawanopo yang ditorehnya. Analisis stereografi orientasi bodin, yang diukur pada tiga lokasi.

Adanya mata air panas di Desa Toreo, sebelah tenggara Tinobu serta pergeseran pada bangunan dinding rumah dan jalan sepanjang sesar ini menunjukkan bahwa sistem sesar Lawanopo masih aktif sampai sekarang. Lengan Sulawesi tenggara juga merupakan kawasan pertemuan lempeng, yakni lempeng benua yang berasal dari Australia dan lempeng samudra dari Pasifik. Kepingan benua di Lengan Tenggara Sulawesi dinamai Mintakat Benua Sulawesi Tenggara (*South East Sulawesi Continental*

Terrane) dan Mintakat Matarambeo. Kedua lempeng dari jenis yang berbeda ini bertabrakan dan kemudian ditindih oleh endapan Molasa Sulawesi.

Sebagai akibat subduksi dan tumbukan lempeng pada Oligosen Akhir- Miosen Awal, kompleks ofiolit tersesar–naikkan ke atas di kerak benua. Molasa sulawesi yang terdiri atas batuan sedimen klastik dan karbonat terendapkan selama akhir dan sesudah tumbukan, sehingga molasa ini menindih tak selaras kerak Benua Sulawesi Tenggara dan Kompleks Ofiolit tersebut. Pada akhir Kenozoikum lengan ini di koyak oleh Sesar Lawanopo dan beberapa pasangannya termasuk Sesar Kolaka.

1.6.5 Batuan Ultramafik

Batuan Ultramafik merupakan batuan yang terdiri dari mineral-mineral yang memiliki sifat mafik (*Ferromagnesium*), seperti mineral olivin (Mg_2SiO_4 ; Fe_2SiO_4), Piroksen ($CaSiO_2$; $MgSiO_3$; $FeSiO_3$), Hornblend dan Mika, dimana semua batuan ultramafik ini memiliki indeks warna $>70\%$ (Ahmad, 2002).

Menurut (Ahmad, 2002), istilah mengenai “ultramafik” dan “ultrabasa” merupakan dua hal yang berbeda. Dalam hal ini, dapat dipahami bahwa kebanyakan batuan ultramafik juga termasuk dalam ultrabasa, namun tidak semua batuan ultrabasa bersifat ultramafik. Dengan demikian, batuan yang kaya akan feldspathoid adalah ultrabasa namun tidak ultramafik karena tidak mengandung mineral ferromagnesian.

Berikut adalah jenis-jenis batuan ultramafik, antara lain:

1. Dunit
Merupakan batuan beku plutonik, komposisi ultramafik, dengan tekstur kasar atau phaneritic. Pengelompokan mineral olivin lebih besar dari 90%, dengan sejumlah kecil mineral lain seperti piroksen, kromit dan pyrope. Dunit jarang ditemukan dalam batuan kontinental, tetapi ia ditemukan biasanya terjadi di dasar urutan ofiolit di mana lempengan batu mantel dari zona subduksi telah diserahkan ke kerak benua dengan obduction selama benua atau pulau busur tabrakan (*orogeny*). Hal ini juga ditemukan di peridotit yang mewakili potongan sub-kontinental mantel terkena selama orogeny tumbukan.
2. Harzburgit
Harzburgit batuan beku ultramafik. Harzburgit, mengandung berbagai peridotit yang sebagian besar terdiri dari dua mineral, olivin yang rendah kalsium (Ca) dan piroksen (*enstatite*). Harzburgit melainkan nama untuk kejadian di Pegunungan Harz Jerman. Biasanya berisi persen spinel kromium kaya beberapa mineral sebagai aksesori. Garnet-bantalan harzburgit jauh kurang umum, ditemukan paling sering sebagai xenoliths di Kimberlite.
3. Lherzolit
Lherzolit adalah jenis batuan beku ultramafik. batu ini berbutir kasar yang terdiri dari 40% sampai 90% olivin bersama dengan *orthopyroxene*. Lherzolit biasanya ditandai dengan dominasi mineral *orthopyroxene* sehingga memiliki kenampakan pada sisi sampel core batas mineral yang tidak jelas.
4. Hornblendit
Hornblendit merupakan batuan ultramafik monomineral dengan komposisi sepenuhnya terdiri dari mineral hornblende.
5. Serpentin

Ahmad (2002), menyatakan serpentinite merupakan batuan hasil alterasi hidrotermal dari batuan ultramafik, dimana mineral-mineral olivin dan piroksen yang teralterasi akan membentuk mineral serpentin. Serpentinite dapat dihasilkan dari mantel oleh hidrasi dari mantel ultramafik (mantel peridotit dan dunit). Di bawah pegunungan tengah samudera (*mid oceanic ridge*) pada temperature $<500^{\circ}\text{C}$

1.6.6 Nikel Laterit

Endapan nikel laterit merupakan endapan dari hasil proses pelapukan yang sangat intensif di daerah tropis pada batuan yang mengandung nikel seperti, dunit (olivin), peridotit (olivin+piroksen) dan serpentinit. Proses pelapukan pada batuan asal (laterisasi) menyebabkan nikel berubah menjadi larutan yang kemudian diserap oleh mineral-mineral oksida besi membentuk garnierit pada lapisan saprolit (Golightly, 1981) dalam (Maulana, 2017).

Mineral-mineral pada batuan asal (olivin dan piroksin) mengalami proses serpentinisasi oleh akibat adanya interaksi dengan air laut (*seawater*) atau selama proses *low-grade metamorphism* atau alterasi. Alterasi olivin akibat proses hidrasi akan menyebabkan perubahan menjadi silika amorphous, serpentin dan limonit (Maulana, 2017).

1.6.6.1 Genesis Endapan Nikel Laterit

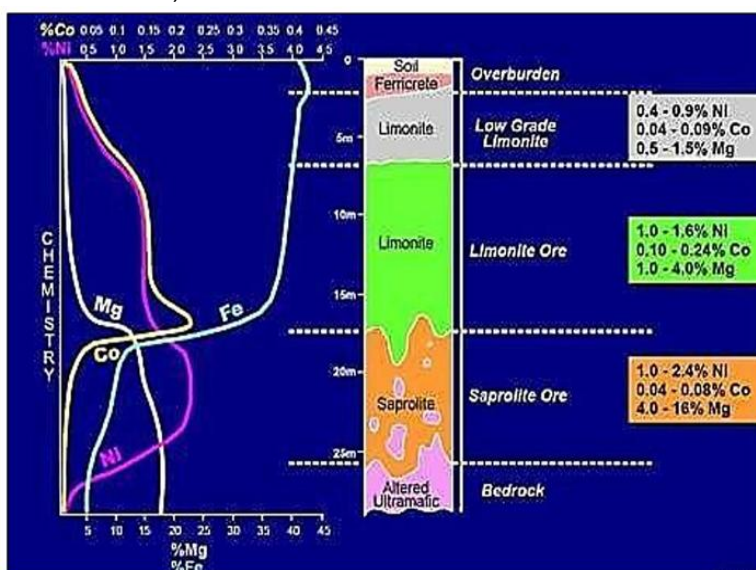
Proses pelapukan dimulai pada batuan ultramafik (peridotit, dunit, serpentinit) yang banyak mengandung mineral olivin, piroksen, magnesium silikat, dan besi silikat dengan kandungan nikel kira-kira sebesar 0.30%. Proses laterisasi pada endapan nikel laterit diartikan sebagai proses pencucian pada mineral yang mudah larut dan mineral silika dari profil laterit pada lingkungan yang bersifat proses laterisasi pada unsur Fe, Cr, Al, Ni, dan Co (Maulana, 2017).

Air permukaan yang mengandung CO_2 dari atmosfer dan terkayakan kembali oleh material-material organik di permukaan meresap ke bawah permukaan tanah sampai pada zona pelindihan (*leaching zone*), tempat terjadinya fluktuasi air tanah berlangsung. Akibat fluktuasi ini, air tanah yang kaya CO_2 akan mengalami kontak dengan zona saprolit yang masih mengandung batuan asal dan melarutkan mineral-mineral yang tidak stabil seperti olivin, serpentin dan piroksen. Unsur Mg, Si, dan Ni akan larut dan terbawa dengan aliran air tanah dan akan membentuk mineral-mineral baru pada proses pengendapan kembali. Endapan besi yang bersenyawa dengan oksida akan terakumulasi dekat dengan permukaan tanah, sedangkan magnesium, nikel, dan silika akan tetap tinggal di dalam larutan dan bergerak turun selama suplai air yang masuk ke dalam tanah terus berlangsung. Rangkaian proses ini merupakan proses pelapukan dan pelindihan (*leaching*).

Pada proses pelapukan lebih lanjut magnesium (Mg), silika (Si), dan nikel (Ni) akan tertinggal di dalam larutan selama air masih bersifat asam. Tetapi jika dinetralisasi karena adanya reaksi dengan batuan dan tanah, maka zat-zat tersebut akan cenderung mengendap sebagai mineral hidrosilikat (Ni-magnesium *hidrosilicate*) yang disebut mineral garnierite $[(\text{Ni},\text{Mg})_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$ atau mineral pembawa Ni.

Adanya suplai air dan saluran untuk turunnya air, dalam hal ini berupa kekar atau rekahan pada batuan, maka Ni yang terbawa oleh air akan turun ke bawah, lambat laun akan terkumpul di zona ketika air sudah tidak dapat turun lagi dan tidak dapat menembus batuan dasar (*bedrock*). Ikatan dari Ni yang berasosiasi dengan Mg, SiO₂, dan H akan membentuk mineral garnierit. Apabila proses ini berlangsung terus-menerus maka akan terjadi proses pengayaan supergen (*supergene enrichment*). Zona pengayaan supergen ini terbentuk di zona saprolit.

Dalam satu penampang vertikal profil laterit dapat juga terbentuk zona pengayaan yang lebih dari satu, hal tersebut dapat terjadi karena muka air tanah yang selalu berubah-ubah, terutama bergantung dari perubahan musim. Di bawah zona pengayaan supergen terdapat zona mineralisasi primer yang tidak terpengaruh oleh proses oksidasi maupun pelindihan, yang sering disebut sebagai zona batuan dasar (*bedrock*) (Maulana, 2017).



Gambar 3 Distribusi vertikal unsur pada penampang nikel laterit (Elias, 2002)

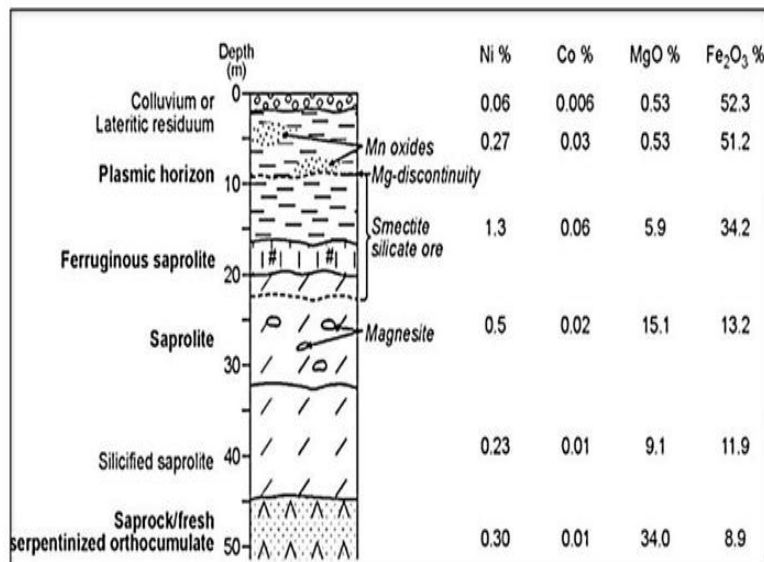
1.6.6.2 Tipe Endapan Nikel Laterit

Berdasarkan dari mineralisasi bijih, terdapat tiga jenis deposit pokok yang terbagi atas *Hydrous Silicate Deposites*, *Clay Silicate Deposites* dan *Oxides Deposites* (Brand, et al., 1998).

a. Clay Silicate Deposit

Kondisi pelapukan yang tidak berjalan dengan baik seperti pada iklim dingin dan panas membuat silika tidak mengalami pencucian (*leaching*) sebagaimana di lingkungan tropis lembab. Silika ini kemudian bergabung bersama Fe dan Al membentuk zona dimana lempung smektit (*nontronite*) mendominasi. Sisa silika dari hasil pembentukan nontronit kemudian terendapkan sebagai nodul opal atau kalsedon dalam lempung. Profil laterit seperti ini biasanya ditindih oleh lapisan tipis yang Fe-Oksida dibagian atasnya dan didasari oleh hasil lapukan saprolit yang mengandung serpentin dan *nontronite* (Elias, 2002). *Clay silicate* deposit yang didominasi oleh *nontronite* dan montmorilonit lebih mudah untuk

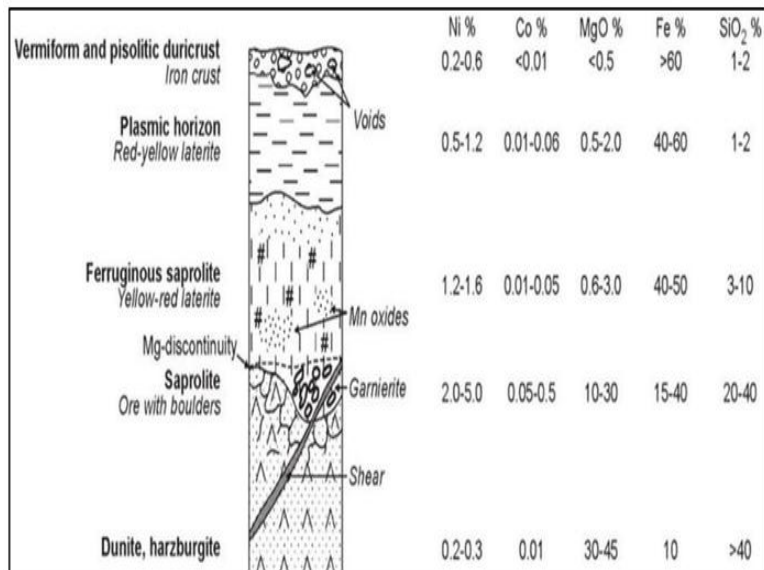
terbentuk dari batuan asal yang mengandung mineral mikroskopis seperti ortokumosis daripada orthopiroksen, hal ini disebabkan karena konsentrasi unsur Ca, Na dan Al awal yang lebih tinggi dalam ortokumosis.



Gambar 4 Clay silicate deposit pada endapan nikel di Murin Austria (Butt dan Morris, 2005)

b. Oxides Deposit

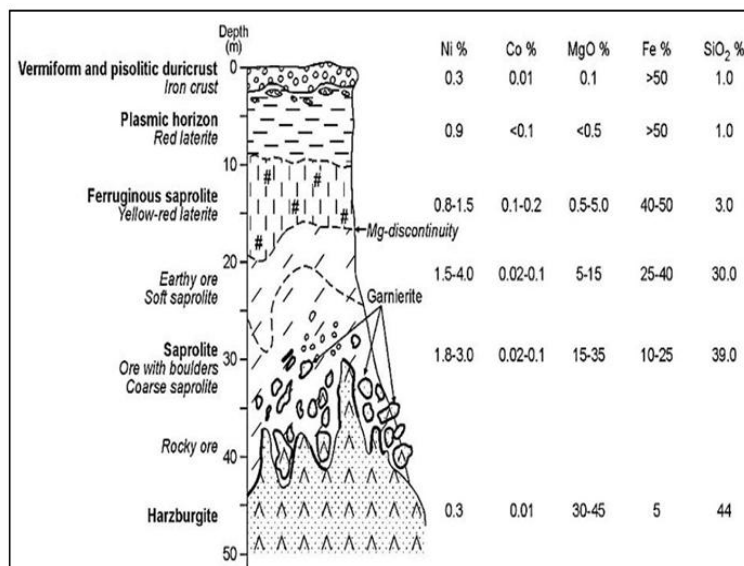
Butt dan Morris (2005) menyatakan bahwa *oxides* deposit adalah produk akhir yang paling umum dari hasil laterisasi batuan ultramafik. Dengan adanya air, mineral pembentuk batuan primer seperti olivin, piroksen dan serpentin kemudian dipecah oleh hidrolisis yang melepas unsur penyusun mineral sebagai ion didalam larutan berair. Olivin adalah mineral yang paling tidak stabil serta mineral yang paling pertama mengalami pelapukan. Di lingkungan tropis yang lembab, unsur Mg²⁺ tercuci dan hilang karena air tanah, unsur Si sebagian besar tercuci (*leaching*) dan terbuang, Fe juga terlepas namun dioksidasi dan diendapkan sebagai hidroksida besi yang bersifat amorf atau kurang kristalin tapi secara progresif mengkristal ulang dengan vegetasi yang ada, *goethite* yang membentuk *pseudomorph* setelah olivin. Mineral ortopiroksen dan serpentin kemudian terhidrolisis setelah olivin, juga melepaskan unsur seperti Mg dan Si dan diganti dengan *goethite pseudomorph*. Sementara itu, mineral yang bersifat ferromagnesium tetap pada lapisan awal, namun seiring dengan hancurnya mineral primer, akan menghasilkan *goethite* dengan tekstur yang masif akibat terjadinya pemadatan pada tekstur primer yang hilang. Transformasi mineralogi yang melibatkan hilangnya Mg dan konsentrasi residu Fe menghasilkan tren kimia yang jelas dan familiar pada laterit Mg yang menurun ke atas dan Fe meningkat ke atas melalui profil laterit (Butt dan Morris, 2005).



Gambar 5 Oxide deposit pada endapan nikel laterit di Goro New Caledonia (Butt dan Morris, 2005)

c. *Hydrous Silicate Deposit*

Laterit silika terbentuk pada kondisi dimana terjadinya pengangkatan secara perlahan namun konsisten dan muka air tanah rendah yang stabil pada profil laterit. Pelapukan yang terjadi dalam waktu lama menghasilkan zona saprolite yang tebal yang mungkin ditutupi oleh lapisan limonit yang tipis tergantung dari intensitas erosi pada bagian atas profil laterit. Laterit silikat memiliki karakteristik dengan pengayaan Ni pada zona saprolit yang di dalamnya juga terdapat mineral-mineral alterasi seperti serpentin, smektit, dan garnierit (Elias, 2002).



Gambar 6 Hydrous silicate deposit pada endapan nikel laterit di New Caledonia (Butt dan Morris, 2005)

1.6.6.3 Profil Nikel Laterit

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

- a. **Iron Cap**
Iron cap atau tudung besi yaitu lapisan berukuran lempung, berwarna coklat kemerahan, dan biasanya terdapat juga sisa-sisa tumbuhan. lapisan dengan konsentrasi besi yang cukup tinggi (*ferruginous duricrust*) dan kandungan nikel yang rendah atau merupakan laterit residu yang dapat terbentuk pada bagian atas dari profil dan melindungi lapisan endapan nikel laterit dibawahnya (Golightly, 1979).
- b. **Zona Limonit**
Zona ini berada paling atas pada profil dan masih dipengaruhi aktivitas permukaan dengan kuat. Zona ini tersusun oleh humus dan limonit. Mineral-mineral penyusunnya adalah goethit, hematit, tremolit dan mineral-mineral lain yang terbentuk pada kondisi asam dekat permukaan dengan relief relatif datar. Secara umum material-material penyusun zona ini berukuran halus (lempung-lanau), sering dijumpai mineral stabil seperti spinel, magnetit dan kromit (Golightly, 1979)
- c. **Zona *Medium Grade Limonite* (MGL)**
Sifat fisik zona *Medium Grade Limonite* (MGL) tidak jauh berbeda dengan zona *overburden*. Tekstur sisa *bedrock* mulai dapat dikenali dengan hadirnya fragmen *bedrock*, yaitu peridotit atau serpentinit. Rata-rata berukuran antara 1-2 cm dalam jumlah sedikit. Ukuran material penyusun berkisar antara lempung-pasir halus. Ketebalan zona ini berkisar antara 0-6 meter. Umumnya singkapan zona ini terdapat pada lereng bukit yang relatif datar. Mineralisasi sama dengan zona limonit dan zona saprolit, yang membedakan adalah hadirnya kuarsa, lithioporit, dan opal (Golightly, 1979)
- d. **Zona Saprolit**
Zona saprolit merupakan zona bijih, tersusun atas fragmen-fragmen bedrock yang teralterasi, sehingga mineral penyusun, tekstur dan struktur batuan dapat dikenali. Zona saprolit merupakan lapisan setelah zona limonit pada profil laterit, dimana pada lapisan ini terjadi proses pengayaan unsur Ni yang lebih besar dibandingkan zona lapisan lainnya. Menurut (Ahmad, 2002) zona saprolit terbagi atas 2 lapisan berdasarkan tingkat pelapukannya yang disebut *soft saprolite* yang tinggi akan tingkat pelapukan hingga menghasilkan ciri-ciri yang hampir menyerupai limonit dan *rocky saprolite* yang tingkat pelapukannya lebih rendah dibandingkan yang terjadi pada lapisan *soft saprolite*.
- e. **Bedrock**
Bedrock berada pada bagian paling bawah dari profil laterit. *Bedrock* ini merupakan batuan yang masih segar dengan pengaruh proses proses pelapukan sangat kecil. Tersusun atas bongkah lebih besar dari 75 cm dan blok batuan dasar dan secara umum sudah tidak mengandung mineral ekonomis lagi.