

TUGAS AKHIR

**PEMODELAN BIJIH (*ORE*) NIKEL DAN ESTIMASI SUMBERDAYA
TERUKUR MENGGUNAKAN METODE *ORDINARY KRIGING* PADA
PIT K BLOK B PT. CERIA NUGRAHA INDOTAMA, KECAMATAN
WOLO, KABUPATEN KOLAKA, PROVINSI SULAWESI TENGGARA**

Disusun dan diajukan oleh

**SEMUEL ELNAS MINGGUS SALEH
D061 18 1316**



**DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

TUGAS AKHIR

**PEMODELAN BIJIH (*ORE*) NIKEL DAN ESTIMASI SUMBERDAYA
TERUKUR MENGGUNAKAN METODE *ORDINARY KRIGING* PADA
PIT K BLOK B PT. CERIA NUGRAHA INDOTAMA, KECAMATAN
WOLO, KABUPATEN KOLAKA, PROVINSI SULAWESI TENGGARA**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik (ST) Pada Program Studi Teknik Geologi Departemen Teknik
Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*

OLEH

**SEMUEL ELNAS MINGGUS SALEH
D061 18 1316**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**PEMODELAN BIJIH (ORE) NIKEL DAN ESTIMASI SUMBERDAYA
TERUKUR MENGGUNAKAN METODE *ORDINARY KRIGING* PADA PIT K
BLOK B PT. CERIA NUGRAHA INDOTAMA, KECAMATAN WOLO,
KABUPATEN KOLAKA, PROVINSI SULAWESI TENGGARA**

Disusun dan diajukan oleh

**SEMUEL ELNAS MINGGUS SALEH
D061 18 1316**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin 15 Juni 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Gowa, Mei 2023

Pembimbing Utama

Disetujui Oleh :

Pembimbing Pendamping


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


Dr. Eng. Mentia Farida, S.T., M.T.
NIP 197310032000122001

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Samuel E. M. Saleh

NIM : D061181316

Program Studi : Teknik

GeologiJenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul

Pemodelan Bijih (Ore) Nikel Dan Estimasi Sumberdaya Terukur Menggunakan Metode Ordinary Kriging Pada Pit K Blok B Pt. Ceria Nugraha Indotama, Kecamatan Wolo, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara.

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

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya sendiri bersedia menerimasanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 15 Juni 2023

Yang menyatakan,



Semuel E. M. Saleh

SARI

Nikel merupakan salah satu komoditas tambang paling penting di dunia. Nikel umumnya diproduksi menjadi beberapa jenis seperti logam halus, bubuk, spons, dan lain-lain. Estimasi sumber daya dan sebaran kadar mineralisasi bahan galian perlu dilakukan pada setiap tahapan eksplorasi. Tujuan dilakukannya penelitian pada daerah ini yaitu untuk Menjelaskan Karakteristik laterisasi pada daerah penelitian dan membuat pemodelan sebaran nikel yang terdapat di zona saprolit pada daerah penelitian. Penelitian difokuskan untuk mengetahui distribusi serta perhitungan estimasi sumber daya nikel laterit dengan metode *Ordinary Kriging* pada Pit G PT. Ceria Nugraha Indotama , Kecamatan Wolo, Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara. Database yang dibutuhkan untuk dilakukannya perhitungan estimasi sumberdaya yaitu data collar, survey, assay, dan juga data topo. Sumber daya terukur unsur Ni dilakukan dengan menggunakan metode *Ordinary Kriging*. Sebelum melakukan estimasi sumberdaya, data yang akan diolah yaitu data geostatistik diantaranya pembuatan histogram, variogram, dan semi-variogram. Dari data-data tersebut akan menghasilkan data berupa bearing, plunge, dip, nugget, sill, range, major/semi-major, dan major/minor. Setelah data-data ini didapat maka akan dilakukan pemodelan distribusi ni yang kemudian akan dihitung estimasi sumberdaya kadar ni.

Kata Kunci : Nikel, Estimasi Sumber Daya, *Ordinary Kriging*, Geostatistik.

ABSTRACT

Nickel is one of the most important mining commodities in the world. Nickel is generally produced into several types such as fine metal, powder, sponge, and others. Estimation of resources and the distribution of levels of mineralization of minerals needs to be carried out at each stage of exploration. The purpose of conducting research in this area is to explain the characteristics of laterization in the study area and to model the distribution of nickel in the saprolite zone in the study area. The research was focused on knowing the distribution and estimation of nickel laterite resources using the Ordinary Kriging method at Pit G PT. Ceria Nugraha Indotama, Wolo District, Kolaka Regency, Southeast Sulawesi. The database needed to perform resource estimation calculations are collar data, surveys, assays, and also topo data. Measurable resources of the Ni element are carried out using the Ordinary Kriging method. Before estimating resources, the data to be processed is geostatistical data including histograms, variograms, and semi-variograms. From these data will produce data in the form of bearing, plunge, dip, nugget, sill, range, major/semi-major, and major/minor. After these data are obtained, it will be modeled for the distribution of ni which will then be calculated to estimate the resource for ni content.

Keywords : *Nickel, Resource Estimation, Ordinary Kriging, Geostatistics.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membimbing, mengarahkan dan membantu penulis baik berupa bantuan moril maupun materil dalam penyusunan, khususnya kepada:

1. Bapak **Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M. Eng.** sebagai dosen pembimbing yang telah meluangkan banyak waktu dan tenaganya dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Ibu **Dr. Eng. Meutia Farida, S.T., M.T.** sebagai dosen pembimbing yang telah meluangkan banyak waktu dan tenaganya dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak **Ilham Alimuddin, S.T, MGIS, PhD.** selaku penguji yang telah bersedia meluangkan waktunya memberikan ilmunya demi kesempurnaan laporan ini.
4. Ibu **Dr. Ir. Haerany Sirajuddin, M.T.** selaku penguji yang telah bersedia meluangkan waktunya memberikan ilmunya demi kesempurnaan laporan ini.
5. Bapak dan Ibu dosen pada Jurusan Teknik Geologi Universitas Hasanuddin atas segala bimbingannya.
6. Staf Jurusan Teknik Geologi Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya dalam pengurusan administrasi penelitian.
7. Kepada mama, anes, dan olens yang tiada henti-hentinya memberikan penulis

segala bentuk dukungan, baik berupa dukungan moril ataupun material.

8. Kakak-Kakak Senior yang telah memberikan bantuan informasi dan ilmunya beserta pengalamannya.

9. Teman-teman angkatan 2018 yang selalu menyemangati dan memberi dukungan agar tetap semangat.

10. Pihak-pihak yang lain yang membantu dalam penyusunan laporan penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini masih sangat jauh dari kesempurnaan, sehingga segala saran dan kritik yang sifatnya membangun sangat diperlukan dalam penyempurnaan laporan ini.

Gowa, Juni 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iiiv
SARI	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Maksud dan Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Lokasi, Waktu, dan Kesampaian Daerah.....	4
1.6 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Geologi Regional.....	6
2.1.1 Geomorfologi Regional	7
2.1.1 Stratigrafi Regional	9
2.1.2 Struktur Geologi Regional	10
2.2 Geologi Daerah Penelitian.....	12
2.2.1 Geomorfologi Daerah Penelitian	13
2.2.2 Stratigrafi Daerah Penelitian	14
2.2.3 Struktur Daerah Penelitian	17
4.3 Batuan Ultrabasa.....	19
4.4 Nikel Laterit.....	21
4.4.1 Genesha Endapan Nikel Laterit.....	22
4.4.2 Profil Nikel Laterit	26
4.5 Eksplorasi.....	29
4.5.1 Tahapan Eksplorasi	30
4.5.2 Teknik Eksplorasi.....	32

4.6	Pemodelan dan Perhitungan Sumber Daya	32
4.7	<i>Ordinary Kriging</i>	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		40
3.1	Metode Penelitian	40
3.2	Tahapan Penelitian	40
3.2.1	Tahapan Persiapan	40
3.2.2	Tahap Observasi Lapangan	41
3.2.3	Tahap Pengumpulan Data.....	41
3.2.4	Tahapan Pengolahan dan Analisis Data	41
3.2.6	Tahapan Laporan Analisis	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		45
4.1	Profil Nikel Laterit Daerah Penelitian	45
4.1.1	Penampang Laterit Berdasarkan Titik Bor Daerah Penelitian.....	47
4.1.2	Hasil Pengeboran Daerah Penelitian.....	48
4.2	Sumber Data	49
4.2.1	Data Topografi.....	49
4.2.2	Data Assay	50
4.2.3	Data Collar.....	51
4.2.4	Data Survey	51
4.2.5	Data Geologi	52
4.3	Pengolahan Data	53
4.3.1	Pembuatan Database	53
4.3.2	<i>Display Drill Hole</i>	54
4.3.3	Pembuatan String	55
4.3.4	Pembuatan Digital Terrain Model (DTM)	56
4.4	Analisis Statistik.....	58
4.4.1	Analisis Statistik Komposit 1 Meter	59
4.5	Analisis Variogram Untuk Penentuan Arah Sebaran Nikel.....	59
4.6	Blok Model dan Hasil Estimasi Sumberdaya	62
4.7	Validasi Data Hasil Estimasi Sumberdaya	65
BAB V PENUTUP		67
5.1	Kesimpulan	67
5.2	Saran	68
DAFTAR PUSTAKA		69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Peta IUP PT.CNI	5
Gambar 2. 1 Peta Geologi Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi Tenggara (Simandjuntak dkk, 1993).....	7
Gambar 2. 2 Peta Geomorfologi Bagian Selatan Lengan Tenggara Sulawesi (Surono, 2013)	8
Gambar 2. 3 Stratigrafi Regional Lengan Tenggara Sulawesi (Simandjuntak dkk, 1993)	10
Gambar 2. 4 Struktur Regional Lengan Tenggara Sulawesi (Kadariusman dkk, 2004)	12
Gambar 2. 5 Peta Geologi Daerah Penelitian Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi Tenggara (Simandjuntak dkk, 1993).....	13
Gambar 2. 6 Korelasi Satuan Lembar Lasusua-Kendari Pada Daerah Penelitian (Simandjuntak dkk, 1993).....	17
Gambar 2. 7 Peta tektonik pada Pulau Sulawesi (Kadariusman dkk, 2004)	18
Gambar 2. 8 Hasil Core menunjukkan ada tekstur breksiasi pada batuan	18
Gambar 2. 9 Klasifikasi Batuan Ultrabasa Streckeisen (1976)	19
Gambar 2. 10 Pembentukan Endapan Nikel (Kadariusman dkk, 2004).....	25
Gambar 2. 11 Profil Laterit (Kumarawarman, 2016)	27
Gambar 2. 12 Hubungan antara hasil eksplorasi, sumberdaya mineral, dan cadangan.....	33
Gambar 2. 13 Interpolasi dengan menggunakan metode Ordinary Kriging.....	36
Gambar 2. 14 Perhitungan Semivariogram Eksperimental	36
Gambar 2. 15 Perhitungan nilai rata-rata.....	37
Gambar 2. 16 Perhitungan kondisi tidak bias.....	38
Gambar 2. 17 Perhitungan Semivariogram Eksperimental	38
Gambar 2. 18 Perhitungan Semivariogram Eksperimental	39
Gambar 2. 19 Perhitungan Kadar Rata-rata.....	39
Gambar 3. 1 Diagram Alir Metode dan Tahapan Penelitian	44
Gambar 4. 1 Profil Laterit Daerah Penelitian	45

Gambar 4. 2	Profil Laterit Daerah Penelitian	47
Gambar 4. 3	Zona Top Soil – Zona Limonit Pada Core Box	48
Gambar 4. 4	Zona Saprolit – Zona Bedrock Pada Core Box	49
Gambar 4. 5	Bentuk Topografi dalam bentuk DTM Surface	50
Gambar 4. 6	Report Database	54
Gambar 4. 7	Drill Hole	55
Gambar 4. 8	String Top Saprolit	55
Gambar 4. 9	String Top Bedrock	56
Gambar 4. 10	String Zona Saprolit.....	56
Gambar 4. 11	DTM Zona Top Saprolit	57
Gambar 4. 12	DTM Zona Bedrock.....	57
Gambar 4. 13	DTM Zona Saprolit.....	57
Gambar 4. 14	Validasi Pemodelan Zona Saprolit	58
Gambar 4. 15	Penampang hasil validasi pemodelan zona saprolit.....	58
Gambar 4. 16	Grafik Perbandingan antara unsur Ni dan jumlah sampel	59
Gambar 4. 17	Grafik Histogram antara jumlah sampel dengan frekuensi	59
Gambar 4. 18	Variogram sumbu major kadar Ni komposit 1 meter	60
Gambar 4. 19	Variogram sumbu semi-major kadar Ni komposit 1 meter	61
Gambar 4. 20	Variogram sumbu minor kadar Ni komposit 1 meter	61
Gambar 4. 21	Primary dan Secondary Variogram Map	62
Gambar 4. 22	Material Ore dan Material Waste komposit 1 meter	63
Gambar 4. 23	Material Ore dengan Cut Of Grade Ni > 1.5	63
Gambar 4. 24	Penampang a-b Ore Cut Of Grade Ni > 1.5	64
Gambar 4. 25	Penampang c-d Ore Cut Of Grade Ni > 1.5	64
Gambar 4. 26	Validasi Data Hasil Estimasi	66

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Data Assay.....	50
Tabel 4. 2 Data Collar	51
Tabel 4. 3 Data Survey	52
Tabel 4. 4 Data Geologi.....	53
Tabel 4. 5 Database untuk pemodelan ordinary kriging	62
Tabel 4. 6 Hasil Estimasi Kadar Unsur Ni	65
Tabel 4. 7 Ni rata-rata antara hasil estimasi dan composit data bor.....	65

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel merupakan salah satu komoditas tambang paling penting di dunia. Nikel umumnya diproduksi menjadi beberapa jenis seperti logam halus, bubuk, spons, dan lain-lain. Dari beberapa jenis tersebut, lebih dari 60% digunakan sebagai bahan baku pembuatan baja tahan karat atau stainless steel (Sukandarrumidi, 2007). Nikel pada PT. Ceria Nugraha Indotama jika dilihat dari penyebarannya yaitu pada area-area tertentu di suatu blok. Jadi penyebaran nikel dengan kadar yang dibidang baik itu tidak selamanya mengikuti bentuk topografi tetapi di area-area tertentu, sehingga pengeboran dengan jarak titik bor minim dilakukan untuk menghindari hal tersebut.

Dalam meningkatkan sumberdaya ni dan untuk menghindari hal diatas yang ada pada suatu daerah penelitian, perlu dilakukannya perhitungan sumberdaya kadar ni untuk dapat menghitung berapa banyak sumberdaya ni yang bisa diproduksi dan berapa banyak yang tidak bisa diproduksi. Dalam perhitungan sumberdaya, hal yang perlu diperhatikan agar tidak terjadi masalah adalah jarak. Jarak antara titik bor menentukan penggambaran laterisasi dari suatu area, agar ketika dilakukan *mining* tidak mengalami banyak kendala pada area diantara titik bor tersebut.

Dalam mengestimasi data terlebih dahulu dilakukan pembuatan *block* model biji (*ore*) pada zona saprolit dimana pembuatan block model ini bertujuan agar data yang telah di taksir dengan ketetapan titik bor dapat di estimasikan

dengan membuat block-block kecil yang telah ditetapkan ukurannya dengan tujuan untuk memperlihatkan kandungan dari unsur Ni. Pemodelan blok yang dibuat, disesuaikan dengan spasi titik bor sehingga ukuran block model akan sesuai dengan spasi titik bor, selain itu pembuatan block model disesuaikan dengan perencanaan penambangan dan metode penambangan yang digunakan serta disesuaikan dengan penyebaran endapan bahan galian.

Estimasi sumber daya merupakan suatu hal yang dilakukan untuk menghitung berapa banyak unsur ni yang dapat diproduksi dan yang tidak dapat di produksi pada suatu area yang telah dilakukan pengeboran (Bankes, 2003). Estimasi sumber daya dan sebaran kadar mineralisasi bahan galian perlu dilakukan pada setiap tahapan eksplorasi. Hal ini sangat penting karena diperlukan untuk bahan evaluasi apakah kegiatan eksplorasi tersebut akan dilanjutkan pada kegiatan tahap berikutnya atau tidak. Informasi mengenai kondisi geologi, model sebaran mineralisasi dan taksiran sumber daya yang diperoleh pada tahap prospeksi akan digunakan untuk merancang pola lokasi titik bor, jarak spasi dan jumlah titik bor yang akan dilakukan pada tahap eksplorasi pendahuluan, demikian selanjutnya hasil ekplorasi pada tahap pendahuluan akan digunakan untuk merancang kegiatan pada tahap eksplorasi rinci. Pada akhirnya hasil permodelan dan perhitungan sumber daya pada tahap eksplorasi rinci akan digunakan untuk mengevaluasi apakah sebuah kegiatan penambangan layak atau tidak untuk dilakukan.

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa pada daerah penelitian, penyebaran unsur Ni tidak selamanya mengikuti bentuk topografi, yang artinya

penyebarannya hanya di area-area tertentu saja sehingga metode yang digunakan untuk melakukan estimasi sumberdaya yaitu *Ordinary Kriging*. Metode *kriging* merupakan metode yang dianggap paling baik dalam hal ketepatan penaksirannya. Kelebihan dari metode ini yaitu sudah memasukkan aspek spasial atau posisi dari titik referensi yang akan digunakan untuk menaksir suatu titik tertentu. Proses *kriging* akan memberikan nilai pengestimasi kadar blok berdasarkan kadar-kadar sampel yang telah dikoreksi. Estimasi sumber daya pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode geostatistik *kriging* untuk penaksiran kadar nikel.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana Karakteristik laterisasi pada daerah penelitian?
2. Bagaimana kadar nikel di zona saprolit pada daerah penelitian ?
3. Bagaimana Pemodelan Nikel Laterit yang terdapat di zona saprolit pada daerah penelitian ?
4. Berapakah sumber daya terukur menggunakan metode *ordinary kriging* berdasarkan *cut of grade* Ni pada daerah penelitian ?

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengestimasi sumberdaya unsur Ni dengan metode *ordinary kriging*. Berikut adalah tujuan dilakukannya Penelitian di Pt. Ceria Nugraha Indotama:

1. Menjelaskan Karakteristik laterisasi pada daerah penelitian.
2. Menjelaskan kadar nikel di zona saprolit berdasarkan hasil laboratorium.

3. Membuat pemodelan sebaran nikel yang terdapat di zona saprolit pada daerah penelitian.
4. Menentukan sumber daya terukur nikel berdasarkan *cut of grade* Ni pada daerah penelitian.

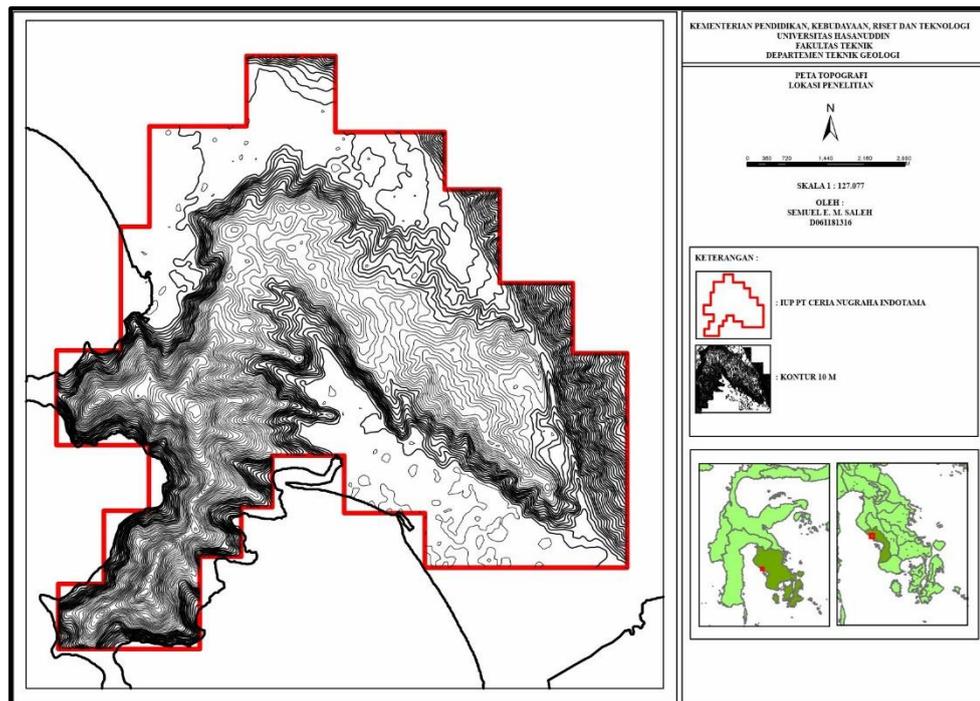
1.4 Batasan Masalah

Penelitian difokuskan untuk mengetahui distribusi serta perhitungan estimasi sumber daya nikel laterit dengan metode *Ordinary Kriging* pada Pit G PT. Ceria Nugraha Indotama, Kecamatan Wolo, Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara.

1.5 Lokasi, Waktu, dan Kesampaian Daerah

Daerah penelitian secara administratif terletak di daerah Wolo, Kecamatan Wolo, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara, yang merupakan daerah konsesi pertambangan PT. Ceria Nugraha Indotama. Secara geografis daerah kerja praktek terletak pada $121^{\circ}14'30''$ – $121^{\circ}20'30''$ Bujur Timur (BT) dan $3^{\circ}48'50''$ – $3^{\circ}55'00''$ Lintang Selatan (LS).

Daerah penelitian dapat dicapai dengan transportasi udara dari Makassar ke Pomala ditempuh sekitar 45 menit, dilanjutkan dengan angkutan darat dari Pomala ke lokasi kerja praktek ditempuh sekitar 2 jam. Sedangkan untuk jalur transportasi darat dari Kota Makassar ke lokasi kerja praktek melewati Luwu Timur dapat ditempuh sekitar 18 jam dan jalur laut dari Pelabuhan Siwa ke Pelabuhan Tobangku sekitar 6 jam dilanjutkan dengan perjalanan darat sekitar 40 menit.



Gambar 1. 1 Peta IUP PT.CNI

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu dapat membantu dalam hal eksplorasi untuk mendapatkan *resource* nikel (ni) yang dapat mendukung dalam proses *mining* dengan menggunakan perhitungan sumber daya terukur dan juga dapat mengimplementasikan teori-teori yang didapat pada saat kuliah ke dalam dunia kerja.

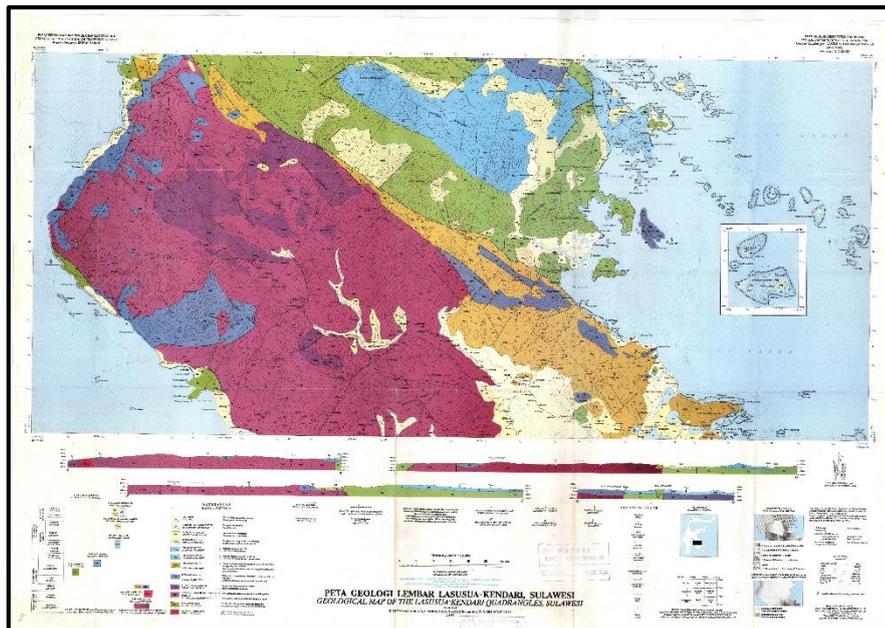
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Daerah Penelitian termasuk dalam Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi Tenggara (Simandjuntak dkk, 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 2. 1 Peta Geologi Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi Tenggara (Simandjuntak dkk, 1993)

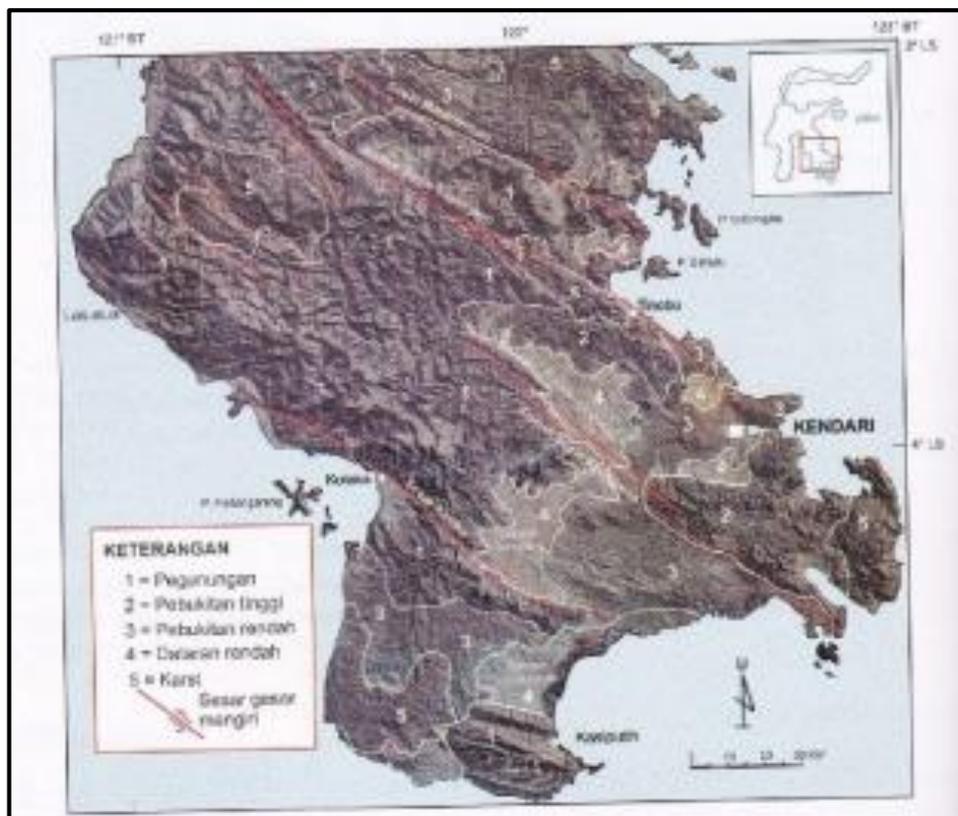
2.1.1 Geomorfologi Regional

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 penyusunnya didominasi oleh batuan sedimen tersier, uraian dibawah ini merupakan berian morfologi dan morfogenesis lengan tengah Sulawesi.

Ujung utara lengan tenggara Sulawesi mempunyai cirri 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. Pembentuka 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.



Gambar 2. 2 Peta Geomorfologi Bagian Selatan Lengan Tenggara Sulawesi (Surono, 2013)

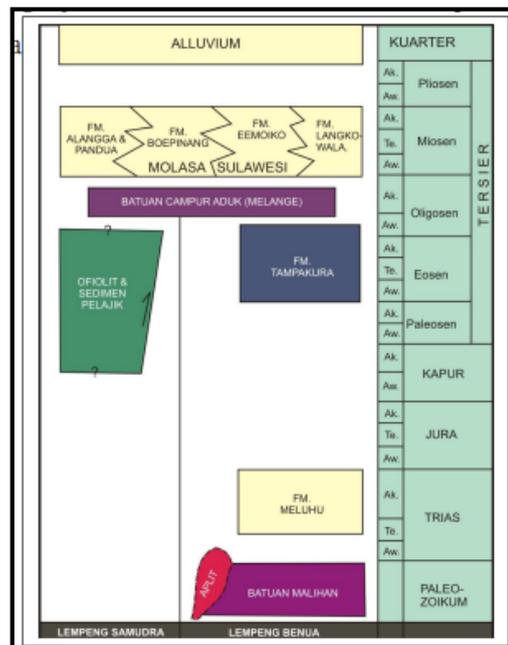
2.1.1 Stratigrafi Regional

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, 1985), 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 melihan 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 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 takselaras Mintakat benua Sulawesi tenggara dan kompleks Ofiolit tersebut. Pada akhir Kenozoikum lengan ini dikoyak oleh Sesar Lawanopo dan

beberapa pasangannya, termasuk Sesar Kolaka. Adapun stratigrafi regional Lengan Tenggara Sulawesi dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 3 Stratigrafi Regional Lengan Tenggara Sulawesi (Simandjuntak dkk, 1993)

2.1.2 Struktur Geologi Regional

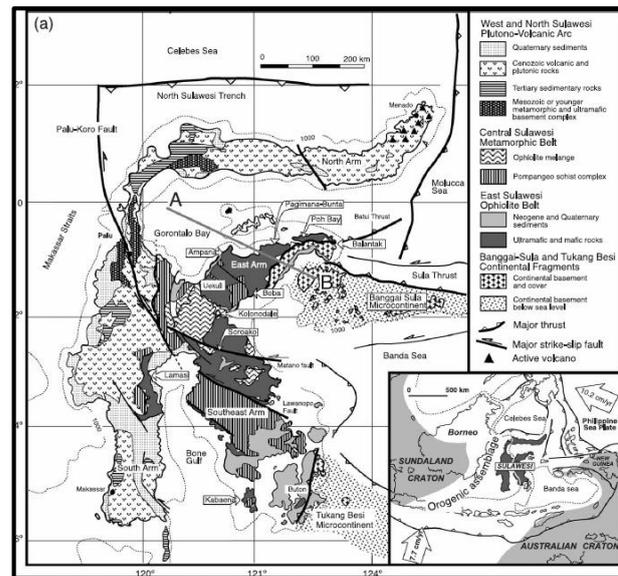
Daerah Penelitian termasuk dalam Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi Tenggara Pulau Sulawesi. Pada lengan tenggara Sulawesi, struktur utama yang terbentuk setelah tumbukan adalah sesar geser mengiri, termasuk Sesar Matarombeo, sistem Sesar Lawanopo, sistem Sesar Konawe, Sesar Kolaka, dan banyak sesar lainnya 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 dilengan 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.



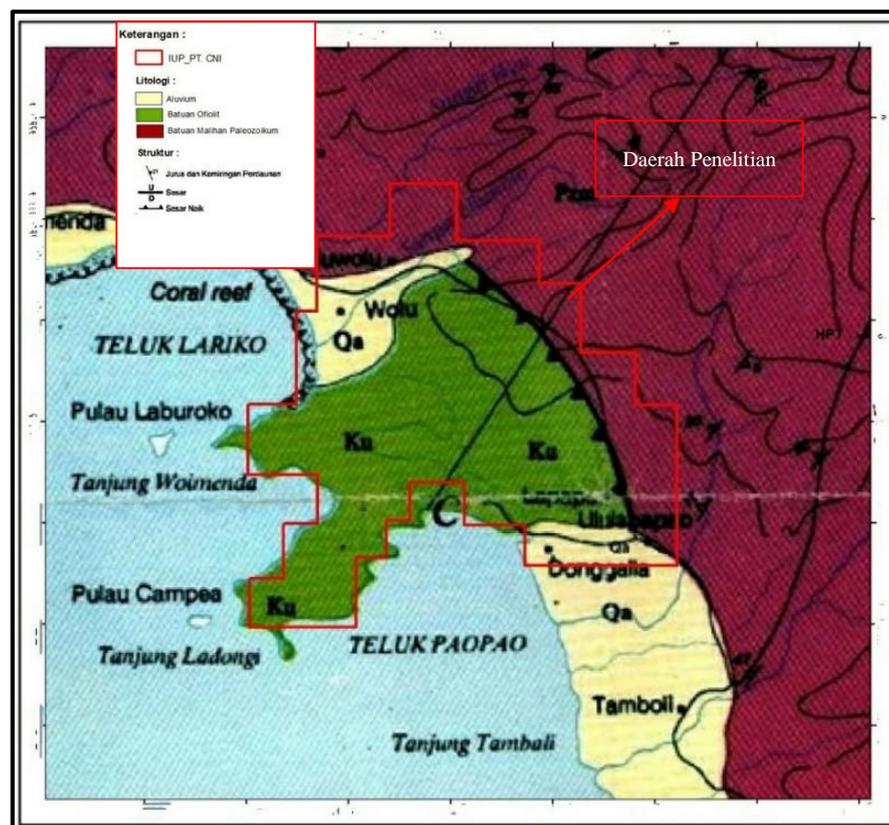
Gambar 2. 4 Struktur Regional Lengan Tenggara Sulawesi (Kadarusman dkk, 2004)

2.2 Geologi Daerah Penelitian

Daerah Penelitian termasuk dalam Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi Tenggara Pulau Sulawesi (Simandjuntak dkk, 1993). Daerah Penelitian berdasarkan Peta Geologi berada pada 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 (Suroño, 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.

Terdapat 3 jenis batuan pada daerah penelitian. Jenis litologi ini didasari pada referensi dari peta geologi lembar lasusua dan hasil eksplorasi yang

dilakukan pada daerah penelitian. Jenis batuan didaerah penelitian antara lain yaitu : Batuan Ultramafik berupa (Peridotit, Dunit, Serpentin), dan Batuan Metamorf.



Gambar 2. 5 Peta Geologi Daerah Penelitian Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi Tenggara (Simandjuntak dkk, 1993)

2.2.1 Geomorfologi Daerah Penelitian

Daerah Penelitian termasuk dalam Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi Tenggara Pulau Sulawesi (Simandjuntak dkk, 1993). Geomorfologi pada daerah penelitian dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu Dataran Aluvial, Perbukitan Bergelombang Rendah, dan Perbukitan Bergelombang Tinggi. Dataran Aluvial berkembang terutama di sekitar Sungai Wolo yang mengalir ke arah selatan dengan topografi yang relatif datar menempati sekitar 10% daerah penelitian.

Sedangkan morfologi Perbukitan Bergelombang Rendah menempati sebagian besar daerah penelitian dan sekitar 70% berupa perbukitan kecil dengan kelerengan landai 10° sampai dengan 25° . Morfologi ini memanjang timurlaut-baratdaya dan dipotong oleh dataran aluvial di sekitar Sungai Wolo pada bagian barat, serta mengelilingi Perbukitan Bergelombang Tinggi yang mengelompok di bagian tengah daerah penelitian. Perbukitan Bergelombang Tinggi tersebut menempati hampir 20% daerah penelitian memiliki kelerengan yang terjal hingga 70° di beberapa tempat.

Pada dataran aluvial laterit tidak berkembang, hanya dijumpai erosi laterit yang tertransportasi ke daerah tersebut. Pada bagian lereng bukit morfologi perbukitan bergelombang dengan kelerengan 20° umumnya keterdapatan zona lateritnya relatif tipis, akan tetapi pada bagian perbukitan bergelombang relative datar dengan kelerengan berkisar 10° sampai dengan 15° zona laterit berkembang lebih baik pada zona perbukitan bergelombang tinggi lateritisasi juga tidak dapat berkembang dengan baik. Bahkan di beberapa tempat dapat dijumpai singkapan batuan dasar yang muncul ke permukaan. Namun demikian, di dataran yang relatif landai pada zona perbukitan bergelombang tinggi tersebut masih dapat dijumpai lateritisasi berkembang secara terbatas.

2.2.2 Stratigrafi Daerah Penelitian

Daerah Penelitian termasuk dalam Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi Tenggara Pulau Sulawesi (Simandjuntak dkk, 1993). Pada daerah penelitian stratigrafi yang tersusun dari yang paling tua hingga ke muda yaitu batuan malihan, kompleks ofiolit, dan aluvium.

1. Kompleks Batuan Metamorf

Batuan tertua sebagai batuan dasar di Lengan Tenggara Sulawesi adalah kompleks batuan metamorf yang diterobos oleh batuan granitan di beberapa tempat yang menempati bagian tengah yang membentuk Pegunungan Mendoke dan Rumbia yang terdiri dari sekis, kuarsit, sabak dan marmer (Simandjuntak dkk,1993)

Batuan metamorf yang diterobos oleh apilit dan diabas yang batuanannya dapat dilihat di Sungai Ranteanging (Surono, 2013).

Batuan metamorf di Lengan Tenggara Pulau Sulawesi tersingkap di sepanjang utara Teluk Bone, Pegunungan Mekongga hingga ke daerah Kolaka, di sepanjang Pegunungan Mendoke, menerus ke Pegunungan Rumbia dan juga Pulau Kabaena (Surono, 2013).

2. Kompleks Ofiolit

Kompleks Ofiolit di Lengan Tenggara Pulau Sulawesi didominasi oleh batuan ultramafik, mafik dan sedimen pelagic. Batuan ultramafik terdiri atas harzburgit, dunit, werlit, lertzolit, websterit, serpentinit, dan piroksinit (Surono, 2013).

Batuan mafik terdiri atas gabro, basalt, dolerite, mikrogabro, dan amfibolit. Batuan sedimen pelagik terbagi atas batugamping laut dalam dan sisipan rijang merah (rijang radiolarian) (Hamilton, 1979).

Berdasarkan Stratigrafi Lembar Lasusua- Kendari yang dikeluarkan oleh E. Rusmana dalam Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi tahun 1993 maka

secara umum stratigrafi Kabupaten Kolaka, dapat dibagi dalam beberapa formasi batuan sebagai berikut :

a. Batuan Malihan Paleozoikum (Pzm)

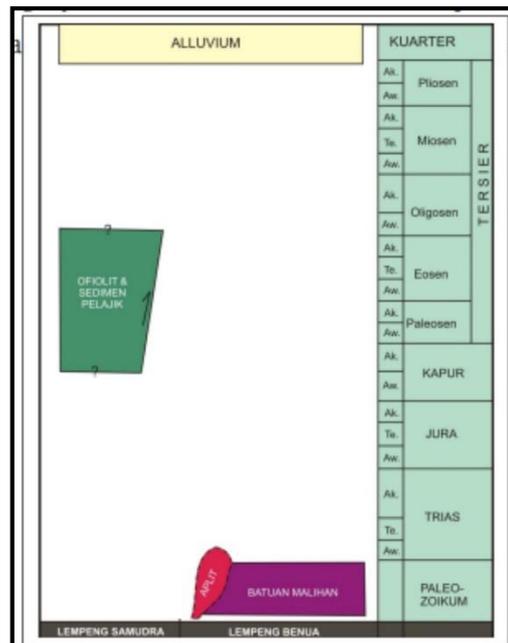
Tersusun oleh jenis batuan sekis, *gneis*, filit, kuarsit, batusabak, dan sedikit pualam. Berumur Karbon sampai Perm.

b. Batuan Ofiolit (Ku)

Batuan ofiolit merupakan batuan beku yang tersusun oleh jenis batuan peridotit, harzburgit, dunit, gabro, dan serpentinit. Satuan batuan ini diperkirakan berumur Kapur.

c. Endapan Aluvium (Qa).

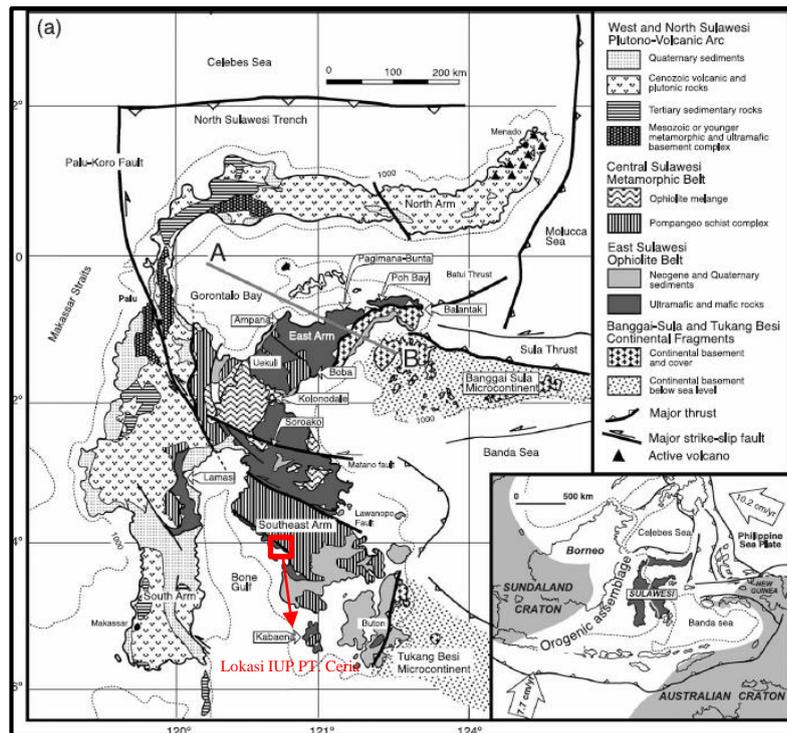
Endapan Aluvium merupakan endapan sekunder hasil rombakan batuan di permukaan yang telah terbentuk sebelumnya. Endapan terdiri dari material lepas batuan kerikil, kerakal, pasir dan lempung (Surono, 2013)



Gambar 2. 6 Korelasi Satuan Lembar Lasusua-Kendari Pada Daerah Penelitian (Simandjuntak dkk, 1993)

2.2.3 Struktur Daerah Penelitian

Daerah Penelitian termasuk dalam Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi Tenggara Pulau Sulawesi (Simandjuntak dkk, 1993). Pada gambar 2.7, dapat dilihat bahwa daerah penelitian (IUP PT. Ceria Nugaha Indotama) terdapat proses struktur yang terjadi. Struktur yang terdapat pada daerah penelitian berdasarkan Peta Geologi adalah sesar naik. Sesar naik inilah yang mempengaruhi litologi lain saling berselingan sehingga tersusun beberapa susunan batuan yang biasa disebut ofiolit. Kemudian ofiolit ini akan mengalami proses subduksi yang kemudian akan tersingkap di kerak benua.



Gambar 2. 7 Peta tektonik pada Pulau Sulawesi (Kadarusman dkk, 2004)

Selain pada Peta Geologi, pencari struktur yang dapat kita lihat pada daerah penelitian yaitu batuan dasarnya itu kebanyakan memiliki tekstur breksi yang diasumsikan terbentuk karena proses sesar naik dan subduksi tersebut.

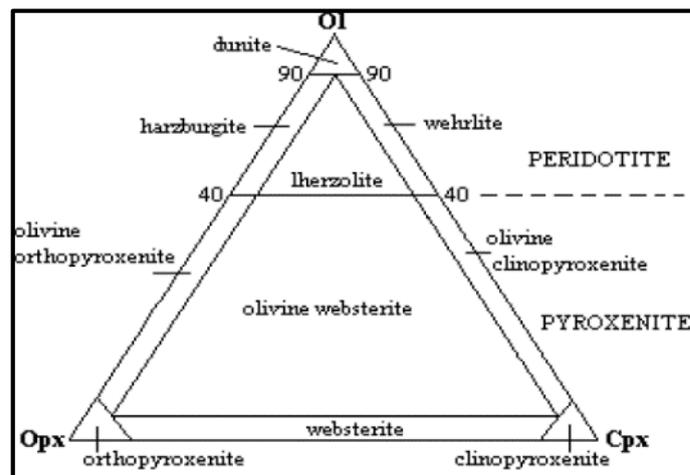


Gambar 2. 8 Hasil Core menunjukan ada tekstur breksiasi pada batuan

4.3 Batuan Ultrabasa

Batuan ultrabasa merupakan batuan yang kaya mineral basa (mineral ferromagnesia) dengan komposisi utama batuannya adalah mineral olivin, piroksen, hornblende, mika dan biotit, sehingga batuan ultrabasa memiliki indeks warna > 70 % gelap dan sebagian besar berasal dari plutonik (Ahmad, 2008).

Berdasarkan klasifikasi dari Streckeisen (1976) memperlihatkan klasifikasi untuk batuan ultramafik (Gambar 2.9). Di mana dalam klasifikasi ini batuan intrusi dan ekstrusi dipisahkan. Klasifikasi ini pembagiannya berdasarkan kandungan mineraloginya, yang terbagi dalam empat jenis mineral.



Gambar 2. 9 Klasifikasi Batuan Ultrabasa Streckeisen (1976)

Jenis-jenis batuan ultrabasa, antara lain:

1. Peridotit

Peridotit biasanya membentuk suatu kelompok batuan ultrabasa yang disebut ofiolit, umumnya membentuk tekstur kumulus yang terdiri atas harzburgit, lherzolit, wehrlit, 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 (Williams, 1954).

2. Dunit

Menurut Williams (1954), bahwa dunit merupakan batuan yang hampir murni olivin (90% - 100%). Sedangkan (Ahmad, 2008) menyatakan bahwa dunit memiliki komposisi mineral hampir seluruhnya adalah monomineralik olivin (umumnya magnesia olivin), mineral asesorisnya meliputi kromit, magnetit, ilmenit, dan spinel.

Pembentukan dunit berlangsung pada kondisi padat atau hampir padat (pada temperatur yang tinggi) dalam larutan magma, dan sebelum mendingin pada temperatur tersebut, batuan tersebut siap bersatu membentuk massa olivin anhedral yang saling mengikat (Williams, 1954). Terbentuknya batuan yang terdiri dari olivin murni (dunit) misalnya, membuktikan bahwa larutan magma (*liquid*) berkomposisi olivin memisah dari larutan yang lain (Wilson, 1989).

3. Serpentin

Serpentin merupakan batuan hasil alterasi hidrotermal dari batuan ultrabasa, dimana mineral – mineral olivin dan piroksin jika teralterasi akan membentuk mineral serpentin. Serpentin sangat umum memiliki komposisi batuan berupa monomineralik serpentin, batuan tersebut dapat terbentuk dari serpentinisasi dunit, peridotit (Ahmad, 2008). Serpentin tersusun oleh mineral grup serpentin > 50 % (Williams, 1954).

Menurut Ringwood (1975), bahwa pada prinsipnya kerak serpentin dapat

dihasilkan dari mantel oleh hidrasi dari mantel ultrabasa (mantel peridotit dan dunit) di bawah punggung tengah samudera (*Mid Ocean Ridge*) pada temperatur $< 500^{\circ}\text{C}$. Serpentin kemudian terbawa keluar melalui migrasi litosfer. Serpentinisasi pada mineral olivine menurut Ahmad (2008), bahwa Serpentin merupakan suatu pola mineral dengan komposisi $\text{H}_4\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_9$, terbentuk melalui alterasi hidrothermal dari mineral feromagnesia seperti olivin, piroksen dan amfibol. Umumnya alterasi pada olivin dimulai pada pecahan / retakan pada kristalnya, secepatnya keseluruhan Kristal mungkin teralterasi dan mengalami pergantian.

4.4 Nikel Laterit

Nikel (Ni) merupakan logam yang keras dan tahan korosi, serta cukup reaktif terhadap asam dan lambat bereaksi terhadap udara pada suhu dan tekanan normal. Logam ini cukup stabil dan tidak dapat bereaksi terhadap oksida sehingga sering digunakan sebagai koin dan pelapis dan sifatnya paduan. Dalam dunia industri, nikel adalah salah satu logam yang paling penting dan banyak memiliki aplikasi; 62% dari logam nikel digunakan untuk baja tahan karat, 13% sebagai *superalloy* dan paduan tanpa besi karena sifatnya yang tahan korosi dan suhu tinggi (Astuti, 2011).

Endapan laterit terbentuk dari akibat proses pelapukan batuan ultramafik, yang merupakan campuran kompleks mineral-mineral ferromagnesian seperti olivin $[(\text{Fe},\text{Mg})_2\text{SiO}_4]$, piroksin $[(\text{Fe},\text{Mg})_2\text{Si}_2\text{O}_6]$ dan amfibol $[(\text{Fe},\text{Mg})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2]$. Akibatnya, endapan banyak ditemukan di daerah tropis seperti Kuba, Indonesia, Kaledonia Baru, Filipina dan Amerika Selatan (Solar

dkk, 2015)

Indonesia memiliki cadangan bijih nikel laterit yang cukup besar terutama di Sulawesi, Halmahera, Papua dan Kalimantan. Cadangan bijih nikel tersebut sekitar 1576 Mt atau 15% dari cadangan nikel di dunia. Sebagian besar bijih nikel, terutama limonit berkadar nikel rendah masih diekspor dalam bentuk mentah dan sisanya masih merupakan material yang belum diolah (Astuti, 2011).

4.4.1 Genesha Endapan Nikel Laterit

Bijih nikel terdiri atas Ni-sulfida (*nickel sulphides*) dan Ni-laterit (*nickel laterites*). Mineral Ni-Sulfida umumnya terbentuk secara primer dan berasosiasi dengan batuan mafik dan ultramafik (piroksenit, harzburgit, dan dunit). Endapan bijih nikel ini juga terjadi bersama-sama bijih kromit (Cr), sedangkan Ni-laterit merupakan bentuk sekunder endapan Ni-sulfida.

Laterisasi adalah proses pelapukan batuan secara kimiawi yang berlangsung dalam waktu lama pada kondisi iklim basah. Prosesnya melibatkan penguraian mineral induk atau primer yang tidak stabil pada kondisi lingkungan basah dan pelepasan unsur-unsur kimianya ke dalam air tanah. Komponen yang tidak terurai membentuk mineral baru yang stabil pada kondisi lingkungan tersebut.

Nikel laterit adalah hasil laterisasi batuan ultramafik yang mengandung nikel seperti peridotit, dunit dan serpentinit. Hal ini dapat berlangsung karena adanya air permukaan yang bersifat asam sehingga dapat melarutkan nikel, magnesium dan silikon yang terkandung dalam batuan dasar. Berbeda dengan Ni-sulfida yang ditemukan pada kedalaman ratusan meter di bawah permukaan tanah,

Ni-laterit terdapat pada kedalaman yang relatif lebih dangkal, yaitu sekitar 15 – 20 meter di bawah permukaan tanah. Endapan Ni-laterit cenderung berkadar rendah dengan jumlah yang melimpah.

Pembentukan endapan nikel dipengaruhi oleh (Sutisna dkk, 2006):

1. Iklim. Curah hujan menentukan jumlah air hujan yang masuk ke tanah sehingga mempengaruhi intensitas pencucian dan pemisahan komponen yang larut.
2. Topografi. Relief dan geometri lereng akan mempengaruhi pengaliran air, jumlah air yang masuk ke dalam tanah dan level muka air tanah.
3. Penyaliran. Mempengaruhi pasokan jumlah air untuk pelindian seluruh area di sekitarnya.
4. Tektonik. Pengangkatan muka tanah akibat gaya tektonik akan meningkatkan erosi pada bagian atas profil, meningkatkan relief topografi dan menurunkan muka air tanah. Kestabilan tektonik mendukung pendataran topografi dan memperlambat gerakan air tanah.
5. Tipe batuan induk. Komposisi mineral menentukan tingkat kerentanan batuan terhadap pelapukan dan ketersediaan unsur untuk kombinasi ulang pembentukan mineral baru.
6. Struktur. Patahan dan kekar memungkinkan bagi peningkatan permeabilitas batuan dasar sehingga meningkatkan potensi terjadinya alterasi.

Faktor-faktor tersebut sangat terkait satu sama lain. Saat batuan keluar ke permukaan, maka secara bertahap akan mengalami dekomposisi. Proses kimia dan

mekanik yang disebabkan oleh udara, air dan temperatur akan menghancurkan batuan tersebut menjadi tanah dan lempung (Sutisna dkk, 2006).

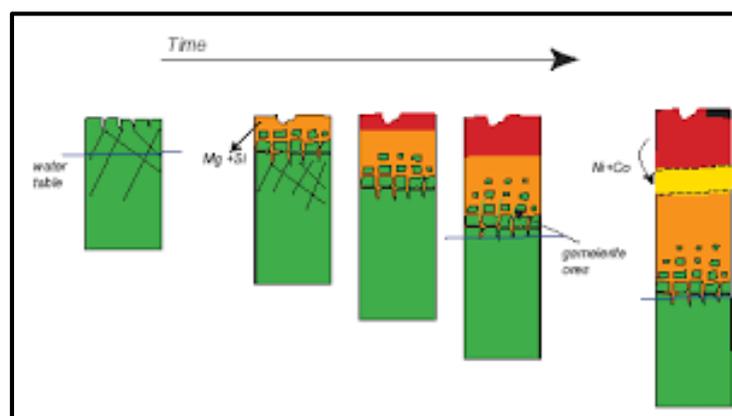
Secara horizontal penyebaran nikel tergantung kepada arah aliran air tanah dan bentang alam. Air tanah di zona pelindian mengalir dari pegunungan ke arah lereng sambil membawa unsur Ni, Mg, dan Si. Berdasarkan cara terjadinya, endapan nikel dapat digolongkan menjadi dua macam, yaitu endapan bijih Ni-sulfida (primer) dan Ni-laterit (sekunder). Proses pembentukan Ni-laterit merupakan proses dekomposisi sekunder endapan Ni-sulfida yang diawali dari pelapukan batuan ultrabasa seperti harzburgit, dunit, dan piroksenit. Dalam deret Bowen, batuan ini banyak mengandung olivin, piroksen, magnesium silikat dan besi. Mineral-mineral tersebut tidak stabil dan mudah mengalami pelapukan. Media transportasi nikel yang terpenting adalah air. Air tanah kaya CO₂ berasal dari udara dan tumbuhan akan menguraikan mineral yang terkandung dalam batuan ultrabasa tersebut. Kandungan olivin, piroksin, magnesium silikat, besi, nikel dan silika akan terurai dan membentuk suatu larutan.

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

kombinasinya.

Adanya suplai air yang mengalir melalui kekar akan membawa nikel turun ke bawah dan lambat laun akan terkumpul di zona permeabel yang tidak dapat menembus batuan induk. Apabila proses ini berlangsung terus menerus, maka akan terjadi proses pengayaan supergen yang berada di zona saprolit. Dalam satu penampang vertikal profil laterit dapat terbentuk zona pengayaan lebih dari satu karena muka air tanah yang selalu berubah-ubah akibat perubahan musim.

Di bawah zona pengayaan supergen terdapat zona mineralisasi primer yang tidak terpengaruh oleh proses oksidasi maupun pelindian, yang sering disebut sebagai zona hipogen. Zona pelapukan kimiawi yang kaya akan bijih nikel berada pada zona saprolit. Bijih nikel tidak hanya berasosiasi dengan garnierit, tapi Ni juga dapat mensubstitusi Fe dan Mg pada mineral silikat, khususnya serpentinit. Komposisi kimia dari mineral-mineral mafik (termasuk olivin) dalam Iherzolit yang mengandung Ni dan Cr misalnya pada endapan Ni-laterit Soroako, Sulawesi Selatan (Atmadja dkk, 1974).



Gambar 2. 10 Pembentukan Endapan Nikel (Kadarusman dkk, 2004)

Berdasarkan tipe mineral yang dominan, bijih nikel laterit di dunia dapat diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) tipe, yaitu (Sumardi dkk, 2013):

- a) Laterit oksida (*oxide laterites*) merupakan produk yang paling umum proses laterisasi. Sebagian besar terdiri atas Fe-hidroksida di bagian atas lapisan bijih;
- b) Laterit lempung (*clay laterite*). Sebagian besar terdiri atas lempung semektit pada bagian atas lapisan bijih;
- c) Laterit silikat, terbentuk pada bagian yang lebih dalam dan mungkin dilapisi oleh laterit oksida. Sebagian besar terdiri atas Mg-Ni silikat (*serpentin, garnierite*).

4.4.2 Profil Nikel Laterit

Profil laterit dapat dibagi menjadi beberapa zona seperti memperlihatkan profil endapan nikel laterite umumnya profil nikel laterite yang ditunjukkan oleh beberapa endapan nikel laterite didunia secara umum mempunyai persamaan. menunjukkan profil laterite dari New Caledonia di daerah Pasifik. Profil nikel laterit tersebut didiskripsikan dan diterangkan oleh daya larut mineral dan kondisi aliran air tanah. Lapisan-lapisan pada profil laterite dari endapan nikel laterit dibedakan menjadi 4, yaitu;

SCHEMATIC LATERITE PROFILE	COMMON NAME	APPROXIMATE ANALYSIS (%)			
		Ni	Co	Fe	MgO
	RED LIMONITE	<0.8	<0.1	>50	<0.5
	YELLOW LIMONITE	0.8 to 1.5	0.1 to 0.2	40 to 50	0.5 to 5
	TRANSITION	1.5 to 4		25 to 40	5 to 15
	SAPROLITE/ GARNIERITE/ SERPENTINE	1.8 to 3	0.02 to 0.1	10 to 25	15 to 35
	FRESH ROCK	0.3	0.01	5	35 to 45

Gambar 2. 11 Profil Laterit (Kumarawarman, 2016)

A. Lapisan Tanah Penutup (*Overburden*)

Lapisan ini terletak di bagian atas permukaan, lunak dan berwarna coklat kemerahan hingga gelap dengan kadar air antara 25% sampai 35%, kadar nikel maksimal 1,3% dan di permukaan atas dijumpai lapisan iron capping. Lapisan ini mempunyai ketebalan berkisar antara 1 – 12 meter, merupakan kumpulan massa goethite dan limonnikel yang rendahite. Iron capping mempunyai kadar besi yang tinggi tapi terkadang terdapat mineral-mineral *hematite*, *chromiferous*.

B. Lapisan Limonit

Lapisan ini terletak di bawah lapisan tanah penutup Fine-grained, merah-coklat atau kuning, agak lunak, berkadar air antara 30% - 40%, kadar nikel 1,5%, Fe 44%, MgO 3%, SiO₂%, lapisan kaya besi dari limonit soil menyelimuti seluruh area dengan ketebalan rata-rata 3 meter. Lapisan ini tipis pada lereng yang

terjal, dan setempat hilang karena erosi. Sebagian dari nikel pada zona ini hadir di dalam mineral manganese oxide, lithiophorite. Terkadang terdapat mineral *talca*, *tremolite*, *chromiferous*, *Quartz*, *gibbsite*, *maghemite*. Limonit di daerah *west block* (*unserpentinized*) umumnya mempunyai nikel lebih tinggi di bandingkan dengan limonite di daerah *East block* (*Serpentinized*). Limonit dibedakan menjadi 2, yaitu

1. *Red limonite* yang biasa disebut hematit dan Merupakan zona yang mengandung pengayaan besi residual pada profil laterit yang utamanya disusun oleh oksida besi terhidrasi
2. *Yellow limonite* yang disebut Zona Transisi terdapat mineral *goethite*, smektit dan Silika Biasanya pada goetit nikel berasosiasi dengan Fe dan mengganti unsur Fe sehingga pada zona limonit terjadi pengayaan unsur Ni.

C. Lapisan Bijih/Ore (Saprolit)

Lapisan ini merupakan hasil pelapukan batuan peridotit, berwarna kuning kecoklatan agak kemerahan, terletak di bagian bawah dari lapisan limonite berkadar menengah, dengan ketebalan rata-rata 7 meter. Campuran dari sisa-sisa batuan, butiran halus limonit, *saprolitic rims*, vein dari endapan garnierit, nickeliferous *quartz*, mangan dan pada beberapa kasus terdapat *silica boxwork*, bentukan dari suatu zona transisi dari limonite ke *bedrock*. Terkadang terdapat mineral kuarsa yang mengisi rekahan, mineral-mineral primer yang terlapukan, clorite. Garnierit dilapangan biasanya diidentifikasi sebagai colloidal talc dengan lebih atau kurang nickeliferous serpentin, struktur dan tekstur batuan asal masih terlihat. Lapisan ini terdapat bersama batuan yang keras atau rapuh dan sebagian saprolite. Kadar Ni 1,85%, Fe 16%, MgO 25% SiO₂ 35%. Lapisan ini merupakan lapisan

yang bernilai ekonomis untuk ditambang sebagai bijih.

D. Lapisan Batuan Dasar (*Bed Rock*)

Bagian terbawah dari profil laterit Lapisan ini merupakan batuan peridotit yang tidak atau belum mengalami pelapukan. Blok peridotit (batuan dasar) dan secara umum sudah tidak mengandung mineral ekonomis lagi (kadar logam sudah mendekati atau sama dengan batuan dasar). Berwarna kuning pucat sampai abu-abu kehijauan. Zona ini terfrakturisasi kuat, kadang membuka, terisi oleh mineral garnierit dan silika. Frakturisasi ini diperkirakan menjadi penyebab adanya root zone yaitu zona high grade Ni, akan tetapi posisinya tersembunyi. Ketebalan dari masing-masing lapisan tidak merata, tergantung dari morfologi dan relief, umumnya endapan laterit terakumulasi banyak pada bagian bawah bukit dengan relief yang landai. Sedang relief yang terjal endapan semakin menipis, di samping adanya kecenderungan akumulasi mineral yang berkadar tinggi dijumpai pada zona-zona retakan, zona sesar dan rekahan pada batuan.

4.5 Eksplorasi

Eksplorasi adalah kegiatan lanjutan dan prospeksi dengan tujuan untuk menentukan secara akurat jumlah cadangan kadar, sifat fisik kimia, letak dan bentuk endapan bahan galian (Suhala dkk, 1997). Pemboran eksplorasi nikel laterit dilakukan dengan pola persegi dan grid density (derajat kerapatan jarak interval antar titik bor) yang terus bertambah pada tiap tahapan. Pemboran nikel laterit pada tahap awal dimulai dengan interval 200m, dan akan semakin rapat pada tahapan eksplorasi lebih lanjut yang menjadi 100m, 50m dan 25m. Hasil pemboran dengan spasi 25 meter inilah yang digunakan sebagai acuan untuk

menghitung cadangan nikel. Apabila diperlukan lagi maka dapat dilakukan inpit drilling (pemboran produksi) yang digunakan sebagai petunjuk dalam membuat rencana penambangan dengan mempersingkat jarak antar titik bor menjadi 12,5m.

4.5.1 Tahapan Eksplorasi

Menurut Hasrul Muhammad (2018) Eksplorasi dilakukan dengan beberapa tahap yaitu sebagai berikut :

1. Eksplorasi pendahuluan

Dalam eksplorasi pendahuluan ini, tingkat ketelitian yang diperlukan masih kecil sehingga peta-peta yang digunakan dalam eksplorasi pendahuluan juga mempunyai skala yang relatif kecil. Sebelum memilih lokasi eksplorasi dilakukan studi terhadap data dan peta yang sudah ada (dari survey terdahulu), catatan-catatan lama, laporan temuan dan data pendukung lainnya, lalu dipilih daerah yang akan disurvey. Setelah pemilihan lokasi ditentukan langkah berikutnya merupakan studi mengenai faktor-faktor geologi regional, dimana peta geologi regional sangat penting untuk memilih daerah eksplorasi, karena pembentukan endapan bahan galian dipengaruhi dan tergantung pada proses-proses geologi yang pernah terjadi, singkapan-singkapan batuan pembawa bahan galian dan yang perlu juga diperhatikan adalah perubahan/batas batuan, orientasi lapisan batuan sedimen (*strike* dan *dip*), orientasi sesar dan tanda-tanda lainnya.

2. Eksplorasi Detail

Setelah tahap eksplorasi pendahuluan diketahui bahwa cadangan yang ada mempunyai prospek yang baik, maka diteruskan dengan eksplorasi tahap *detail*. Kegiatan utama dalam tahap ini ialah *sampling* dengan jarak yang lebih dekat

(rapat) yaitu dengan memperbanyak sumur uji atau lubang bor untuk mendapatkan data–data yang lebih teliti mengenai penyebaran dan ketebalan cadangan, penyebaran kadar/kualitas secara mendatar maupun tegak. Secara umum hasil yang diharapkan dari pemboran eksplorasi adalah :

- a. Identifikasi struktur geologi
 - b. Sifat fisik batuan sampling dan badan bijih
 - c. Mineralogi batuan sampling dan badan bijih
 - d. Geometri endapan
 - e. Keperluan sampling
3. Proses Pengambilan Sampel Pada Eksplorasi

Ditinjau secara umum proses pengambilan contoh (*sample*) dimaksudkan untuk mengambil sebagian kecil dari suatu massa yang besar, dimana diharapkan sebagian kecil massa tersebut cukup representatif untuk mewakili keseluruhan massa yang diwakilinya. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara pemboran, dari cara pemboran ini diharapkan dapat diidentifikasi lebih teliti penyebaran bijih nikel secara vertikal sedangkan penyebaran secara horizontal dapat diperoleh dengan menggabungkan beberapa titik. Sampel dari hasil kegiatan eksplorasi atau kegiatan pemboran disusun dalam *core box* menurut kedalaman satu meter. Setelah selesai pemboran sampel dibawa ke rumah sampel dan kemudian dimasukkan kedalam kantong sampel dan diberikan kode seperti lokasi tempat pengeboran, kedalaman titik bor, nomor sampel, dan nomor titik bor. Selanjutnya dikirim ke bagian persiapan contoh untuk kemudian dipreparasi guna keperluan analisa kimia (Iskandar Yanti, 2021).

4.5.2 Teknik Eksplorasi

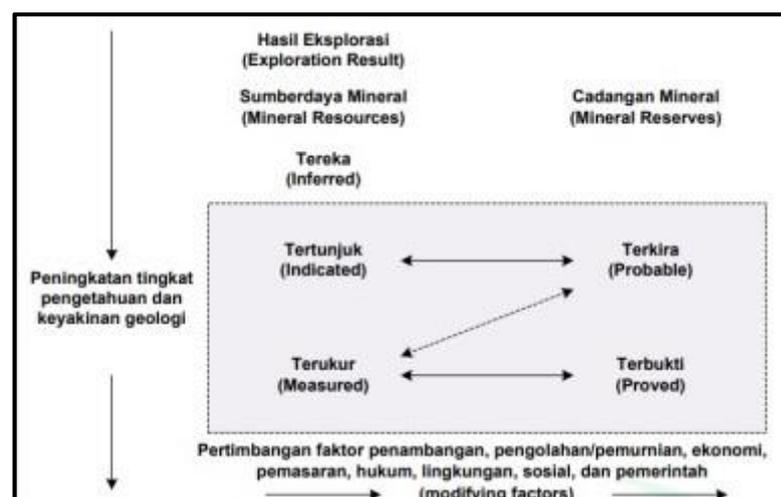
Kegiatan eksplorasi dapat dimulai setelah target endapan yang akan dieksplorasi telah ditetapkan. Berikut prosedur umum yang diterapkan dalam suatu program eksplorasi (Hasrul Muhammad, 2018) :

1. Test Pit dilakukan untuk melihat secara langsung kondisi tanah dilapangan lapisan tanah dengan teliti. Dari pengamatan pada bidang vertikal di dalam lubang dapat diidentifikasi jenis-jenis tanah, warna, kedalaman muka air tanah dan struktur umumnya dapat juga diambil contoh tanah asli dengan memasukkan tabung sampler ke dalam tanah. Pada pengujian test pit ini dapat diambil contoh tanah tak terganggu (*undisturbed sample*) pada lapisan-lapisan yang dikehendaki.
2. Pengeboran (*Drilling*) merupakan suatu kegiatan untuk membuat lubang di permukaan tanah sampai ke target di bawah permukaan. Kegiatan pengeboran merupakan kelanjutan dari analisa geologi, Kegiatan pengeboran umumnya diharapkan berupa pengeboran vertikal, karena biaya operasi dari kegiatan pengeboran tersebut lebih murah dan lebih mudah untuk dilaksanakan. Pada pengeboran (*drilling*) merupakan salah satu metode pengambilan contoh atau sample yang berfungsi untuk memperkuat dan meyakinkan kadar Fe dan Ni mendekati data eksplorasi yang telah ada. Dan apabila kadar Fe dan Ni nya dinilai baik sesuai dengan sasaran maka pada titik sampel tersebut akan dilakukan penambangan.

4.6 Pemodelan dan Perhitungan Sumber Daya

Pemodelan adalah kegiatan merepresentasikan kondisi lapangan

berdasarkan data hasil pengukuran dan pengujian, dengan menggunakan prosedur dan metode tertentu agar mendekati kondisi yang sebenarnya (Bankes, 2003). Dalam studi ini akan dimodelkan bentuk bijih nikel laterit serta mengestimasi kadar antartitik pemercontohan (titik bor, sumur uji dan sebagainya) dan di zona pengaruh, sehingga dapat dihitung jumlah sumber daya terukur nikel laterit. Sumber daya mineral adalah suatu konsentrasi atau keterjadian dari mineral yang memiliki nilai ekonomi pada kerak bumi, dengan dimensi, kualitas, dan kuantitas tertentu yang memiliki keprospekan yang beralasan untuk pada akhirnya dapat diekstraksi secara ekonomis. Lokasi, kuantitas, kadar, karakteristik geologi, dan kemenerusan dari sumber daya mineral harus diketahui, diestimasi atau diinterpretasikan berdasarkan bukti dan pengetahuan geologi yang spesifik, termasuk pengambilan sampelnya. Sumber daya mineral dikelompokkan berdasarkan tingkat keyakinan geologi dalam kategori tereka, tertunjuk, dan terukur (BSN, 2019).



Gambar 2. 12 Hubungan antara hasil eksplorasi, sumberdaya mineral, dan cadangan

1. Sumber Daya Tereka

Sumber daya mineral tereka merupakan bagian dari sumber daya mineral yang kuantitas dan kualitas kadarnya diestimasi berdasarkan bukti geologi dan pengambilan sampel yang terbatas. Bukti geologi tersebut memadai untuk menunjukkan keterjadiannya tetapi tidak memverifikasi kemenerusan kualitas atau kadar dan kemenerusan geologinya. Adapun informasi didapatkan dari singkapan, paritan uji, sumuran uji, dan lubang bor tetapi kualitas dan tingkat keyakinannya terbatas atau tidak jelas. Jarak antara titik pengamatan maksimum dua ratus meter. Spasi ini bisa diperlebar dengan justifikasi teknis yang bisa dipertanggungjawabkan seperti analisa geostatistika. (BSN, 2019)

2. Sumber Daya Tertunjuk

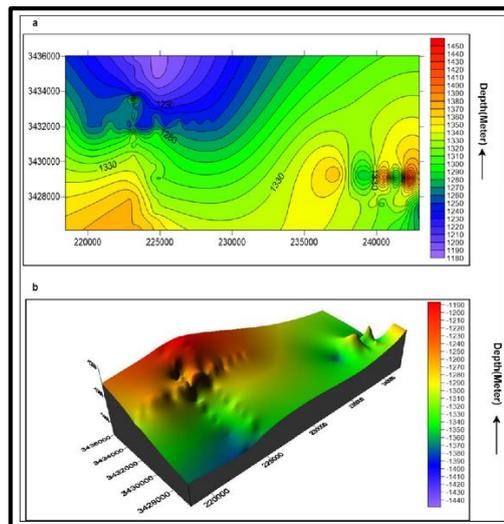
Sumber daya mineral tertunjuk merupakan bagian dari sumber daya mineral dengan kuantitas, kadar atau kualitas, kerapatan titik pengamatan, dimensi, dan karakteristik fisiknya dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan yang cukup untuk memungkinkan penerapan faktor pengubah secara memadai untuk mendukung perencanaan tambang dan evaluasi kelayakan ekonomi cebakan tersebut. Adapun informasi didapatkan dari singkapan, paritan uji, sumuran uji, dan lubang bor. Lokasi pengambilan data masih terlalu jarang atau spasinya belum tepat untuk memastikan kemenerusan dan/atau kadar, tetapi spasial cukup untuk mengasumsikan kemenerusannya. Jarak antara titik pengamatan maksimum seratus meter. Spasi ini bisa diperlebar dengan justifikasi teknis yang bisa dipertanggungjawabkan seperti analisa geostatistika (BSN, 2019).

3. Sumber Daya Terukur

Sumber daya mineral terukur merupakan bagian dari sumber daya mineral dengan kuantitas, kadar atau kualitas, kerapatan titik pengamatan, bentuk, dan karakteristik fisik yang dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan yang memadai untuk memungkinkan penerapan faktor pengubah untuk mendukung perencanaan tambang terperinci dan evaluasi akhir dari kelayakan ekonomi cebakan tersebut. Bukti geologi didapatkan dari eksplorasi, pengambilan sampel dan pengujian yang terperinci dan andal, dan memadai untuk memastikan kemenerusan geologi dan kadar atau kualitasnya di antara titik pengamatan. Adapun informasi didapatkan dari singkapan, paritan uji, sumuran uji, dan lubang bor. Lokasi informasi pada kategori ini secara spasial adalah cukup rapat dengan spasi maksimum lima puluh meter untuk memastikan kemenerusan geologi dan kadar. Spasi ini bisa diperlebar dengan justifikasi teknis yang bisa dipertanggungjawabkan seperti analisa geostatistika (BSN, 2019).

4.7 Ordinary Kriging

Kriging adalah suatu metode geostatistik yang digunakan untuk menaksir besarnya nilai karakteristik pada titik lokasi yang tidak tersampel berdasarkan data titik yang tersampel disekitarnya, dengan mempertimbangkan korelasi spasial yang ada dalam data tersebut. Penggunaan metoda kriging dilakukan dalam dua tahap yaitu tahap pertama menghitung nilai variogram atau semivariogram dan fungsi covarian. Tahap kedua melakukan penaksiran lokasi yang tidak tersampel.



Gambar 2. 13 Interpolasi dengan menggunakan metode *Ordinary Kriging*

A. Semivariogram Eksperimental

Semivariogram adalah perbedaan rata-rata antara dua titik yang terpisah dengan jarak pada arah tertentu. Semivariogram eksperimental adalah semivariogram yang diperoleh dari data hasil pengukuran. Semivariogram dapat digunakan untuk mengukur korelasi spasial berupa variansi selisih pengamatan pada lokasi x dan lokasi berjarak $x+h$. Semivariogram eksperimental dinyatakan dalam rumus:

$$\gamma(h) = \frac{\sum_{i=1}^N [z(x_i) - z(x_i + h)]^2}{2N(h)}$$

Dimana :

- $\gamma(h)$: semi variogram untuk arah tertentu dengan jarak h .
- H : jarak antar conto atau lag semivariogram.
- $z(x_i)$: harga data pada titik x_i .
- $z(x_i + h)$: data pada titik yang berjarak h dari x_i .
- $N(h)$: jumlah pasangan data.

Gambar 2. 14 Perhitungan Semivariogram Eksperimental

B. Semivariogram Teoritis

Untuk melakukan analisa data geostatistik perlu dilakukan pencocokan antara bentuk semivariogram eksperimental dengan semivariogram teoritis yang mempunyai bentuk kurva paling mendekati. Terdapat tiga model semivariogram teoritis yang sering digunakan sebagai pembandingan dengan semivariogram eksperimental, yaitu: model *spherical*, model *gaussian* dan model eksponensial. Dari analisis variogram akan diperoleh nilai parameter nugget (C_0), range (a) dan sill (C).

C. Ordinary Kriging

Ordinary kriging adalah metode kriging paling sederhana yang terdapat pada geostatistik. Pada metode ini diasumsikan bahwa rata-rata (mean) tidak diketahui dan bernilai konstan. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pengolahan data dengan metode ordinary kriging antara lain:

1. Mencari nilai rata-rata di seluruh blok. Bila harga taksiran suatu kadar Z dari suatu volume adalah \hat{Z}_x maka taksiran kadar dapat dihitung melalui pembobotan tertimbang kadar-kadar conto Z_{xi}

$$\hat{Z}_x = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z_{xi} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Gambar 2. 15 Perhitungan nilai rata-rata

2. Mempertimbangkan kondisi tidak bias dengan menentukan jumlah faktor pembobot sama dengan satu.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

Dimana:

- \hat{Z}_x : nilai estimasi kadar di lokasi x
- λ_i : faktor pembobot
- Z_{xi} : nilai kadar di lokasi xi dan
- n: jumlah sampel.

Nilai yang diharapkan untuk perbedaan antara \hat{Z}_x dengan Z sama dengan nol ($\hat{Z}_x - Z = 0$).

Gambar 2. 16 Perhitungan kondisi tidak bias

D. Validation

Cross validasi dilakukan untuk melihat keakuratan hasil estimasi yang telah dilakukan dengan cara membandingkan nilai hasil estimasi pada suatu lokasi sampel dengan nilai data yang sebenarnya pada lokasi tersebut. Selanjutnya hasil dari perbandingan tersebut dapat di plot dalam diagram scatter plot antara kadar sebenarnya dan kadar estimasi. Cross validasi yang baik memiliki nilai koefisien regresi sama dengan atau mendekati satu hal ini menunjukkan bahwa nilai hasil penaksiran sama dengan atau mendekati nilai yang sebenarnya.

E. Penaksiran Sumber Daya

Untuk penaksiran sumber daya nikel, digunakan persamaan :

$$\text{Tonase} = T \times A \times d$$

Dimana : T : ketebalan rata-rata bijih
A : luas blok dan
d : berat jenis.

Gambar 2. 17 Perhitungan Semivariogram Eksperimental

Untuk menghitung ketebalan rata-rata bijih digunakan formula (Rauf, 1998):

$$T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$

Dimana :

n : jumlah titik bor.
 t_i : ketebalan bijih pada titik bor.

Gambar 2. 18 Perhitungan Semivariogram Eksperimental

Untuk menghitung kadar rata-rata bijih digunakan formula (Rauf, 1998):

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n v_i \cdot g_i}{\sum_{i=1}^n v_i}$$

Dimana :

G : kadar bijih rata-rata
 v_i : volume blok
 g_i : taksiran kadar.

Gambar 2. 19 Perhitungan Kadar Rata-rata