

SKRIPSI

ESTIMASI SUMBERDAYA TERUKUR ENDAPAN BIJIH NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN METODE GEOSTATISTIK (ORDINARY CO-KRIGING)

(Studi Kasus: *Site* Tinanggea PT Ifishdeco Tbk. Kecamatan Tinanggea Kabupaten
Konawe Selatan, Sulawesi Tenggara)

disusun dan diajukan oleh

ULAN BATAWEN

D621 16 020



PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ESTIMASI SUMBERDAYA TERUKUR ENDAPAN BIJIH NIKEL LATERIT
MENGUNAKAN METODE GEOSTATISTIK
(ORDINARY CO-KRIGING)**

(Studi Kasus: *Site* Tinanggea PT Ifishdeco Tbk. Kecamatan Tinanggea Kabupaten Konawe Selatan, Sulawesi Tenggara)

Disusun dan diajukan oleh

**ULAN BATAWEN
D62116020**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 08 Juni 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Asran Ilyas, ST. MT. Ph.D.

NIP.197303142000121001

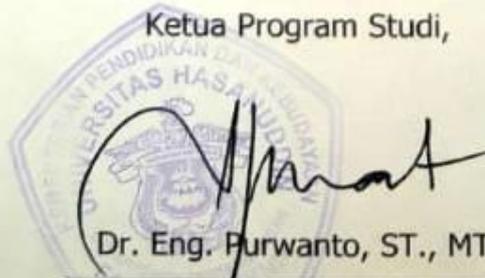
Pembimbing Pendamping,



Dr. Ir. Irzal Nur, MT.

NIP.196604091997031002

Ketua Program Studi,



Dr. Eng. Purwanto, ST., MT.

NIP. 197111282005011002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ulan Batawen
NIM : D62116020
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

**ESTIMASI SUMBERDAYA TERUKUR ENDAPAN BIJIH NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN
METODE GEOSTATISTIK (ORDINARY CO-KRIGING)**

adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 8 Juni 2021

Yang menyatakan



Ulan Batawen

ABSTRAK

Endapan nikel laterit merupakan salah satu sumberdaya alam yang tidak dapat diperbaharui dan banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang kehidupan manusia, terutama dalam bidang industri. Meningkatnya penggunaan logam nikel dan berkurang sumberdayanya, tidak diimbangi dengan sifatnya yang tidak dapat diperbaharui. Oleh sebab itu, diperlukan suatu cara yang lebih baik untuk menyelidiki besarnya sumberdaya nikel yang lebih banyak agar dapat memaksimalkan produksi nikel secara lebih akurat, efektif dan efisien. Salah satu cara tersebut adalah dengan melakukan estimasi sumberdayanya menggunakan metode geostatistik *ordinary co-kriging*. Metode *ordinary co-kriging* digunakan untuk memanfaatkan kovariansi antara dua atau lebih variabel tereregional utama yang digunakan. Metode ini juga memiliki korelasi linear yang lebih baik. Salah satu lokasi sebaran endapan nikel laterit yang cukup melimpah terdapat di Kabupaten Konawe Selatan, Provinsi Sulawesi Tenggara, tepatnya di lokasi tambang PT Ifishdeco Tbk, sehingga lokasi ini dipilih sebagai lokasi daerah penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang cukup kuat antara unsur besi (Fe) dan nikel (Ni) baik pada zona limonit maupun zona saprolit yang ditunjukkan dengan nilai koefisien korelasi 0,8 untuk zona limonit dan 0,6 untuk zona saprolit. Dari hasil ini, maka unsur Fe dapat digunakan sebagai variabel pendukung dalam menentukan tonase sumberdaya terukur bijih Ni menggunakan metode *ordinary co-kriging*. Dari hasil penelitian, diperoleh estimasi sumberdaya terukur endapan nikel laterit di daerah penelitian adalah sebesar 103.680 ton yang berasal dari zona limonit dan saprolit. Sebaran nikel yang ekonomis terletak pada kordinat X (*easting*) 408180 sampai kordinat 408300 dan kordinat Y (*northing*) 9513250 sampai kordinat 9513300. Sedangkan ketinggiannya terletak pada kisaran 18-30 m di atas permukaan air laut.

Kata kunci: Estimasi sumberdaya, Endapan Nikel Laterit, Koefisien Korelasi, *ordinary co-kriging*, Konawe Selatan

ABSTRACT

Deposit of nickel laterite are one of the non-renewable natural resources and are widely used in various fields of human life, especially in the industrial sector. The increasing use of nickel metal and decreasing nickel resources is not matched by its non-renewable resources. Therefore, we need a better way to investigate the amount of nickel resources that is more in order to maximize nickel production more accurately, effectively, and efficiently. One of these methods to estimate the Ni resources is ordinary co-kriging geostatistical method. Ordinary co-kriging method is used to take advantage of the covariance between two or more main regional variables used. This method also has better linear correlation. One of the locations for the distribution of laterite nickel deposits which is quite abundant is in South Konawe Regency, Southeast Sulawesi Province, specifically at the mine site of PT Ifishdeco Tbk. Therefore this location was chosen as the location of the research area. The results showed that there was a strong correlation between the elements of iron (Fe) and nickel (Ni) in both the limonite and saprolite zones as indicated by the correlation coefficient value of 0.8 for the limonite zone and 0.6 for the saprolite zone. From these results, the element Fe can be used as a supporting variable in determining the tonnage of Ni metal resources using the ordinary co-kriging method. From the research results, it was found that the measured resource estimate of laterite nickel deposits in the study area was 103.680 tons. The economical distribution of nickel is located on the coordinates of northing 408180 until coordinates 408300 and easting 9513250 until coordinates 9513300. While the altitude lies in the range of 18 to 30 meters above sea level.

Keywords: *Resource Estimation, Laterite Nickel Deposits, Coefficient of Corelation, Ordinary Co-Kriging, South Konawe*

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahimm

Assalamualaikum wr wb

Puji syukur kehadirat Allah S.W.T, atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusunan laporan tugas akhir ini dapat berjalan lancar dan terselesaikan dengan baik. Tak lupa penulis sampaikan shalawat dan salam atas Rasulullah Muhammad *shallallahu'alaihi wasallam* sebagai suri tauladan terbaik, pemimpin dari segala pemimpin di muka bumi yang menggulung tikar-tikar kebatilan dan menghamparkan permadani islam yang penuh dengan kebahagiaan serta kemajuan teknologi seperti yang kita rasakan saat ini.

Penyusunan laporan Tugas Akhir dengan judul "Estimasi Sumberdaya Terukur Endapan Bijih Nikel Laterit Dengan Metode Geostatistik (*Ordinary Co-kriging*) (Studi Kasus: Site Tinanggea PT Ifishdeco Tbk., Kecamatan Tinanggea, Kabupaten Konawe Selatan, Sulawesi Tenggara) dapat diselesaikan dengan berbagai suka dan duka yang dilalui penulis dalam proses penyusunannya.

Ungkapan rasa terima kasih yang mendalam penulis sampaikan kepada semua pihak yang terlibat secara langsung maupun melalui dukungan moril, tenaga, doa yang sangat memberikan kontribusi besar dalam penyusunan tugas akhir ini. Terutama kepada pihak perusahaan PT Ifishdeco Tbk mulai dari Bapak Agus Prasetyo ST., MT. selaku Kepala Teknik Tambang, Bapak Mulyawan ST, selaku pembimbing dalam penelitian ini, serta seluruh pihak lainnya yang terlibat secara langsung pada proses penelitian

Terima kasih pula penulis sampaikan kepada orang tua kami Bapak Asran Ilyas, ST., MT. Ph.D. selaku Pembimbing I penulis yang senantiasa memberikan arahan, bimbingan akademik/non akademik serta motivasi bagi penulis dalam menyelesaikan

Tugas Akhir ini. Melalui momen kali ini penulis juga memohon maaf apabila dalam proses bimbingan banyak kesalahan dan kekeliruan yang dilakukan.

Terima Kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, MT. selaku pembimbing II penulis yang telah memberikan kritik, saran dan arahan yang sangat membangun. Melalui kesempatan ini pula penulis sampaikan permohonan maaf yang sebesar-besarnya apabila dalam proses perkuliahan dan penelitian banyak melakukan kesalahan.

Ungkapan terima kasih kami sampaikan pula kepada Bapak Dr. Phil. nat Sri Widodo ST., MT. dan Ibu Dr. Aryanti Virtanti Anas selaku penguji penulis yang telah memberikan saran dan kritik yang membangun. Melalui kesempatan kali ini kami ucapkan permohonan maaf yang sebesar-besarnya apabila dalam proses perkuliahan dan penelitian banyak melakukan kesalahan.

Penulis sampaikan terima kasih pula kepada Wa Ode Mustika S.Pd dan teman-teman Teknik 2016 sebagai keluarga besar yang menemani proses pendewasaan diri baik dalam kegiatan intrakulikuler maupun kegiatan ekstrakulikuler. Untuk teman-teman di Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin Angkatan 2016 (Rockbolt 2016) tidak ada kata yang pantas penulis sampaikan kecuali rasa terimakasih dan permohonan maaf. Semoga sahabat-sahabat Rockbolt 2016 tetap dalam lingkaran kekeluargaan dan senantiasa diberikan kesehatan, keimanan serta kesuksesan dunia akhirat *Aamiin*. Terkhusus kepada kedua orang tua saya dan keluarga besar Bapak Jarlin dan Ibu Mazda Linda Ama. Pd. kami ucapkan banyak terima kasih

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, penulis menyampaikan permohonan maaf atas semua kekurangan yang dijumpai dalam proses penyusunan laporan Tugas Akhir ini. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca

dan penelitian berikutnya. Akhirnya semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Makassar, April 2021

Ulan Batawen

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Tahapan Penelitian	3
1.6 Lokasi Penelitian.....	5
BAB II ESTIMASI SUMBERDAYA NIKEL LATERIT	7
2.1 Sumberdaya Mineral	7
2.2 Estimasi Sumberdaya.....	10
2.3 Endapan Nikel Laterit.....	11
2.4 Geostatistik.....	17
2.5 Metode Estimasi Co-kriging	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Sumber Data.....	22
3.2 Pengolahan Data	26
3.3 Bagan Alir Penelitian	38
BAB IV ESTIMASI SUMBERDAYA DAN MODEL 3D ENDAPAN NIKEL	42
4.1 Komposit Data Bor.....	42
4.2 Analisis Korelasi.....	48
4.3 Pemilihan Besi dan Sebagai Parameter Co-Kriging.....	54
4.4 Pemodelan dan Estimasi Sumberdaya.....	56
4.5 Sebaran Nikel Laterit.....	61
BAB V PENUTUP	66

5.1	Kesimpulan.....	66
5.2	Saran.....	66
	DAFTAR PUSTAKA.....	67
	DAFTAR LAMPIRAN	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Lokasi Penelitian	9
2.1 Hubungan sumberdaya mineral dan cadangan bijih	12
2.2 Potongan melintang permukaan proses pelapukan nikel	19
3.1 Grid lubang bor	31
3.2 Model variogram penelitian	32
3.3 Blok Model Estimasi SGeMS	33
3.4 Drillhole	35
3.5 <i>String top</i> limonit	37
3.6 <i>String top</i> saprolite	37
3.7 <i>String bottom</i> saprolit	38
3.8 <i>Digital Terrain Model</i> zona <i>top</i> limonit	39
3.9 <i>Digital Terrain Model</i> zona <i>top</i> saprolit	39
3.10 <i>Digital Terrain Model</i> zona <i>bottom</i> saprolit	40
3.11 Blok model Surpac	41
3.12 Diagram alir Penelitian	43
4.1 Grafik Besi Dan Nikel Zona Limonit	52
4.2 Grafik Besi Dan Nikel Zona Saprolit	53
4.3 Grafik Silika Dan Nikel Zona Limonit	54
4.4 Grafik Silika Dan Nikel Zona Saprolit	55
4.5 Grafik Magnesia Dan Nikel Zona Saprolit	56
4.6 Grafik Magnesia Dan Nikel Zona Saprolit	57
4.7 Grafik <i>Scater</i> Regresi Linear Nikel dan Besi	59

4.8	Variogram Model Endapan	60
4.9	Tampilan vertikal blok model hasil estimasi.....	61
4.10	Tampilan horizontal blok model hasil estimasi.....	62
4.11	Grid Sumber Daya.....	64
4.12	Model 3D endapan nikel prospektif	65
4.13	Penampang 1	66
4.14	Penampang 2	66
4.15	Penampang 3	67
4.16	Penampang 4	68

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
3.1	Contoh data <i>assay</i>	26
3.2	Contoh data <i>collar</i>	26
3.3	Contoh data <i>survey</i>	27
3.4	Contoh data geologi	28
3.5	Contoh data SGeMS	28
3.6	Format data input aplikasi SGeMS.....	30
3.7	Format data titik bor Surpac	34
4.1	Komposit kadar nikel zona limonit.....	46
4.2	Komposit kadar nikel zona saprolit.....	47
4.3	Komposit kadar besi zona limonit	47
4.4	Komposit kadar besi zona saprolit.....	48
4.5	Komposit kadar silika zona limonit	49
4.6	Komposit kadar silika zona saprolit	49
4.7	Komposit kadar magnesia zona limonit.....	50
4.8	Komposit kadar magnesia zona saprolit.....	51
4.9	Koefisien korelasi unsur	58
4.10	Ukuran blok dan kordinat minimum sumber daya	63
4.11	Hasil estimasi sumberdaya	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Peta Penelitian	70
Peta Sebaran Titik Bor	71
Peta Blok Model 3D	72
Peta Blok Model Bentuk Kolom.....	73
Peta Blok Model Bentuk Layer.....	74
Data Pemboran (<i>Assay, Collar, Survey</i> dan Geologi).....	75

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertambangan menurut undang-undang nomor 3 tahun 2020 tentang pertambangan mineral dan batubara adalah sebagian atau seluruh tahapan kegiatan dalam rangka penelitian, pengelolaan dan pengusahaan mineral atau batubara yang meliputi penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengolahan dan pemurnian, pengangkutan dan penjualan, serta kegiatan pascatambang. Berdasarkan hal tersebut kegiatan eksplorasi tidak luput dari proses penambangan. Salah satu upaya untuk mencapai hal tersebut diperlukan suatu perkiraan mengenai keberadaan bahan galian yang dikenal dengan istilah estimasi sumberdaya.

Estimasi sumberdaya berperan penting dalam menentukan jumlah dan kemudahan dalam hal eksplorasi secara komersial dari suatu endapan. Estimasi sumberdaya yang baik dan akurat serta sesuai dengan keberadaannya di lapangan akan sangat menentukan investasi dalam usaha pertambangan, penentuan kerja produksi, cara penambangan yang dilakukan, bahkan dalam memperkirakan waktu yang dibutuhkan oleh perusahaan dalam melaksanakan usaha penambangan. Hal ini diterapkan pada berbagai komoditi tambang di Indonesia termasuk diantaranya nikel.

Nikel merupakan unsur logam dengan simbol Ni dalam tabel periodik unsur yang resisten terhadap air dan proses korosi serta apabila di reaksikan dengan unsur logam lainnya dapat membentuk baja tahan karat sehingga banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang kehidupan terutama dalam bidang industri. Seiring dengan meningkatnya penggunaan nikel terdapat pula kendala saat ini, di mana semakin berkurangnya sumberdaya nikel tidak diimbangi dengan sifatnya yang tidak dapat

diperbaharui. Oleh sebab itu diperlukan salah satu cara untuk menyelidiki sumberdaya nikel yang lebih banyak agar dapat memaksimalkan produksi nikel secara akurat, efektif, dan efisien (Carnes, 2009).

Saat ini PT Ifishdeco Tbk. melakukan estimasi dengan beberapa metode seperti metode poligon dan penampang. Hal tersebut berpengaruh pada efektivitas dan akurasi hasil estimasi sumberdaya. Selain itu juga parameter estimasi yang digunakan berdasarkan jarak antara titik bor mencakup kriteria sumberdaya terukur. Terjadi ketidaksinkronan antara data yang digunakan dengan metode yang di aplikasikan. Oleh sebab itu diperlukan penyelesaian dalam kasus tersebut. Salah satu metode estimasi sumberdaya terukur yang dapat diaplikasikan dalam mencapai target produksi maksimal dan keserasian antara data titik bor dengan metode yang dapat digunakan perusahaan PT Ifishdeco adalah *ordinary co-kriging*. *Co-kriging* merupakan metode yang tidak hanya menggunakan korelasi spasial tetapi juga menggunakan titik kontrol data sekunder sebagai korektor terhadap atribut utama yang akan diperkirakan. Metode co-kriging digunakan untuk memanfaatkan kovariansi antara dua atau lebih variabel teregional yang saling terkait. Metode integrasi data geostatistik menghasilkan model yang lebih akurat karena memanfaatkan kekuatan hubungan antar data tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana hubungan kadar unsur nikel (Ni) terhadap unsur besi (Fe), unsur silika (SiO_2) dan magnesia sehingga memengaruhi tonase sumberdaya nikel laterit di daerah penelitian.
2. Berapa jumlah tonase nikel laterit apabila dilakukan estimasi dengan metode *ordinary cokriging*.
3. Bagaimana sebaran endapan nikel laterit di daerah penelitian.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui hubungan antar unsur Ni dengan unsur Fe dalam kaitannya dengan volume sumberdaya laterit di daerah penelitian.
2. Mengetahui jumlah tonase Ni pada model endapan apabila dilakukan estimasi dengan metode *ordinary co-kriging*
3. Mengetahui sebaran endapan nikel laterit daerah penelitian dengan pembuatan penampang lubang bor.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian dengan judul estimasi sumberdaya terukur endapan bijih nikel laterit menggunakan metode geostatistik (*ordinary co-kriging*) yaitu:

1. Bagi Pihak Perusahaan

Sebagai bahan pertimbangan kepada perusahaan dalam memilih metode yang akan digunakan dalam mengestimasi sumberdaya nikel laterit pada PT Ifishdeco Tbk.

2. Bagi Kalangan Akademisi

Sebagai bahan pembelajaran/referensi dalam menambah wawasan mengenai metode estimasi sumberdaya terukur endapan nikel laterit dengan menggunakan metode *ordinary co-kriging*.

1.5 Tahapan Penelitian

Dalam memecahkan permasalahan ini, dengan menggabungkan antara teori dan data-data lapangan, terutama data-data yang didapat dari perusahaan (PT Ifishdeco Tbk), sehingga dari kedua data tersebut didapat pendekatan penyelesaian masalah melalui beberapa tahap sebagai berikut.

1) Tahap Persiapan

Tahapan persiapan meliputi tahapan studi literatur. Studi literatur meliputi tahapan pencarian referensi yang berkaitan dengan penelitian. Literatur yang diperoleh sebagai bahan pustaka dapat diperoleh dari beberapa sumber antara lain:

- a) Jurnal Internasional
- b) Prosiding
- c) *Surpac* dan SGeMS Modul
- d) Perpustakaan.
- e) *Text book*

2) Tahapan Evaluasi *Database* Titik bor

Tujuan dilakukannya pengambilan data adalah sebagai langkah awal dalam analisis data. Evaluasi data dilakukan dengan mengoreksi data-data yang sudah dikumpulkan oleh perusahaan agar relevan dengan proses penelitian (penginputan *database*) yang dilakukan. Jenis-jenis data yang diambil dalam tahapan pengolahan data antara lain:

- a) Data *collar* yang berisi data posisi atau kordinat lubang bor berupa *Northing*, *Easting* dan elevasi.
- b) Data *assay* yang berisi informasi mengenai kadar pada tiap-tiap interval kedalaman tertentu sesuai dengan analisa kadar yang dilakukan.
- c) Data survey yang berisi informasi mengenai kedalaman lubang bor, kemiringan dan azimuth.
- d) Data geologi yang berisi litologi dan ketebalan litologi pada tiap-tiap lubang bor daerah penelitian atau prospek kadar yang ideal.
- e) Data Input SGeMS yang berisi kordinat lintang, bujur, ketinggian, kadar unsur variabel pendukung estimasi nikel dan kadar unsur nikel.

3) Tahapan Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data dilakukan terhadap data titik bor (data *assay*, *collar*, litologi dan survey). Pengolahan data ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Surpac* 6.6.2 dan *SGeMS* 2.5 dengan mempertimbangkan metode geostatistik (*ordinary co-kriging*).

4) Tahap Analisis Data

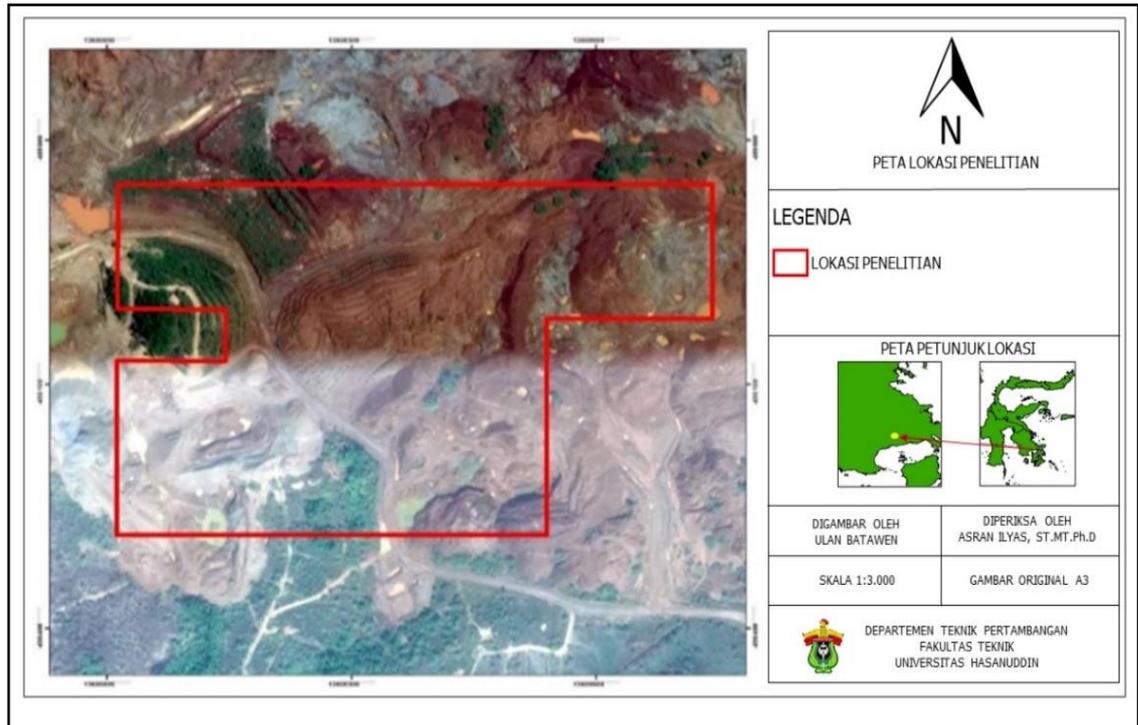
Analisis data dilakukan dengan acara yaitu analisis data secara kuantitatif, dan analisis data secara kualitatif. Hasil dari analisis data akan dilakukan pengolahan lebih lanjut pada skripsi atau tugas akhir.

5) Tahap Pembuatan Tugas Akhir

Hasil dari penelitian berupa hubungan antara pengolahan data yang telah dilakukan serta permasalahan yang diteliti kemudian dituliskan dalam bentuk tugas akhir atau skripsi.

1.6 Lokasi Penelitian

Gambar 1.1 merupakan lokasi area penelitian yang berada pada *pit* selatan perusahaan. Secara dua dimensi lokasi penelitian berbentuk dua persegi panjang yang secara keseluruhan merupakan kawasan titik bor yang sudah mulai melakukan operasi penambangan. Tempat penelitian merupakan salah satu perusahaan nikel yang bernama PT Ifishdeco Tbk.



Gambar 1.1 Lokasi Penelitian

PT Ifishdeco Tbk merupakan salah satu perusahaan yang melakukan penambangan dan pengolahan bijih nikel yang secara administrasi berlokasi di Desa Tinanggea Kecamatan Tinangge, Kabupaten Konawe Selatan, Sulawesi Tenggara.

Lokasi penambangan PT Ifishdeco Tbk dapat ditempuh melalui rute Makassar–Kendari yang dapat ditempuh dengan jalan darat menggunakan mobil atau sepeda motor selama \pm 50 jam dengan kondisi jalan baik. Jalur Makassar ke Kendari dapat di tempuh juga melalui jalur udara menggunakan pesawat selama \pm 45 menit. Kendari–Tinanggea, dapat ditempuh dengan jalan darat dengan menggunakan mobil atau sepeda motor selama \pm 2 jam dengan kondisi jalan baik. Lokasi kantor dan *front* penambangan terletak pada satu *site* area tambang PT Ifishdeco Tbk.

BAB II

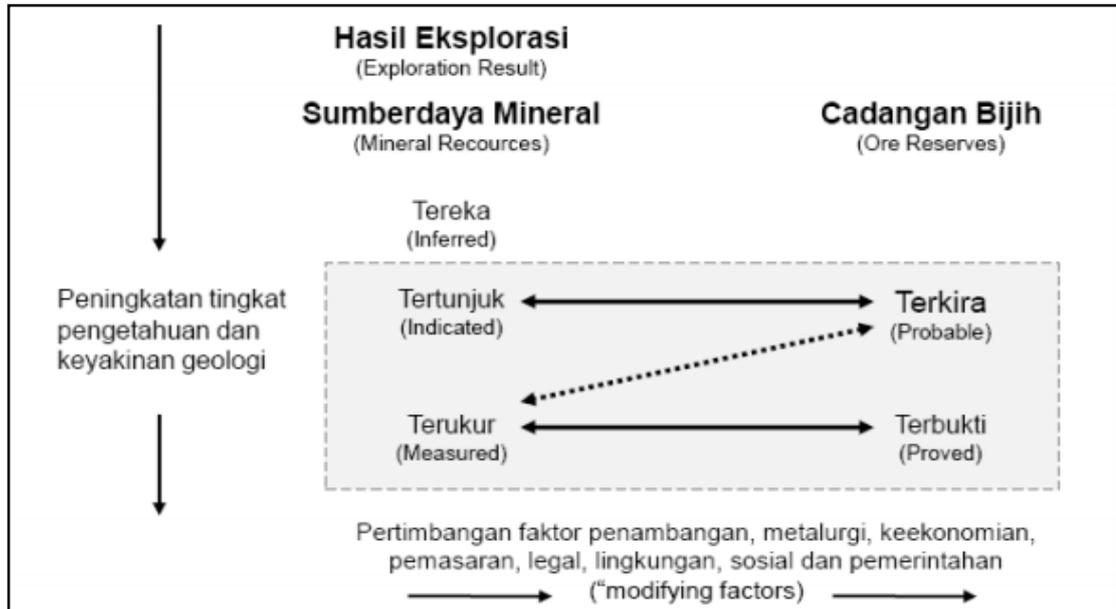
ESTIMASI SUMBERDAYA NIKEL LATERIT

2.1 Sumberdaya Mineral

Sumberdaya mineral adalah suatu konsentrasi atau keterjadian dari material yang memiliki nilai ekonomi pada atau di atas kerak bumi, dengan bentuk, kualitas dan kuantitas tertentu yang memiliki keprospekkan yang beralasan untuk pada akhirnya dapat diekstraksi secara ekonomis. Lokasi, kuantitas, kadar, karakteristik geologi dan kemenerusan dari sumberdaya mineral harus diketahui, diestimasi atau diinterpretasikan berdasar bukti-bukti dan pengetahuan geologi yang spesifik. Sumberdaya mineral dikelompokkan lagi berdasar tingkat keyakinan geologinya, kedalam kategori tereka, tertunjuk, dan terukur. Gambar 2.1 memperlihatkan hubungan antara hasil eksplorasi, sumberdaya mineral dan cadangan bijih. Lokasi, kuantitas, kadar, karakteristik geologi dan kemenerusan dari sumberdaya mineral harus diketahui, diestimasi atau diinterpretasikan berdasar bukti-bukti dan pengetahuan geologi yang spesifik (KCFI, 2017).

2.1.1 Sumberdaya Mineral Tereka

Sumberdaya mineral tereka merupakan bagian dari sumberdaya di mana tonase, kadar, dan kandungan mineral dapat diestimasi dengan tingkat kepercayaan rendah. Hal ini direka dan diasumsikan dari adanya bukti geologi, tetapi tidak diverifikasi kemenerusan geologi dan/atau kadarnya. Hal ini hanya berdasarkan dari informasi yang diperoleh melalui teknik yang memadai dari lokasi mineralisasi seperti singkapan, paritan uji, sumuran uji, dan lubang bor tetapi kualitas dan tingkat kepercayaannya terbatas atau tidak jelas (KCFI, 2017).



Gambar 2.1. Hubungan antara hasil eksplorasi, sumberdaya mineral dan cadangan bijih (KCMI, 2017).

2.1.2 Sumberdaya Mineral Tertunjuk

Sumberdaya mineral tertunjuk merupakan bagian dari sumberdaya mineral di mana tonase, densitas, bentuk, karakteristik fisik, kadar, dan kandungan mineral dapat diestimasi dengan tingkat kepercayaan yang wajar. Hal ini didasarkan pada hasil eksplorasi, dan informasi pengambilan dan pengujian contoh yang didapatkan melalui teknik yang tepat dari lokasi-lokasi mineralisasi seperti singkapan, paritan uji, sumuran uji, terowongan uji dan lubang bor. Lokasi pengambilan data masih terlalu jarang atau spasinya belum tepat untuk memastikan kemenerusan geologi dan/atau kadar, tetapi secara meruang cukup untuk mengasumsikan kemenerusan endapan tersebut (KCMI, 2017).

2.1.3 Sumberdaya Mineral Terukur

Sumberdaya mineral terukur merupakan bagian dari sumberdaya mineral dimana tonase, densitas, bentuk, karakteristik fisik, kadar, dan kandungan mineral dapat diestimasi dengan tingkat kepercayaan yang tinggi. Hal ini didasarkan pada hasil eksplorasi rinci dan terpercaya, dan informasi mengenai pengambilan dan pengujian contoh yang diperoleh dengan teknik yang tepat dari lokasi-lokasi mineralisasi seperti

singkapan, paritan uji, sumuran uji, terowongan uji dan lubang bor. Lokasi informasi pada kategori ini secara meruang adalah cukup rapat untuk memastikan kemenerusan geologi dan kadar (KCMI, 2017).

Bila merujuk pada pada pengklasifikasian sumberdaya dan cadangan mineral yang dilakukan oleh U.S. *Geological Survey* (USGS, 1980), terdapat perbedaan system pengklasifikasian pada pembagian jenis cadangan walaupun pada klasifikasi sumberdaya tidak mengalami perbedaan. Adapun pembagian sumberdaya menurut USGS adalah sebagai berikut (Arif, 2018):

1) Sumberdaya Terukur

Sumberdaya mineral terukur merupakan kuantitas yang dihitung dari dimensi yang terungkap dalam singkapan, parit, atau lubang bor, kadar dan kualitas dihitung dari hasil *sampling* yang detail. Situs untuk inspeksi, pengambilan sampel dan pengukuran diberi jarak begitu dekat agar karakter geologis dapat terdefinisi dengan baik sehingga ukuran, bentuk, kedalaman, dan kandungan mineral dari sumberdaya dapat dihitung dengan baik.

2) Sumberdaya Tertunjuk

Sumberdaya tertunjuk adalah kuantitas dan kadar serta kualitas dihitung dari informasi serupa dengan yang digunakan untuk sumberdaya terukur. Akan tetapi area untuk inspeksi, pengambilan sampel dan pengukuran lebih jauh terpisah atau diberi jarak yang kurang memadai. Tingkat kepastian yang diperoleh lebih rendah daripada sumberdaya terukur, namun cukup tinggi untuk mengasumsikan kontinuitas antara titik pengamatan

3) Sumberdaya Tereka

Sumberdaya tereka adalah perkiraan yang didasarkan pada kontinuitas yang diasumsikan di luar sumberdaya terindikasi yang memiliki bukti geologis.

Sumberdaya teraka dapat didukung atau tidak didukung oleh sampel atau pengukuran.

2.2 Estimasi Sumberdaya

Secara umum, penentuan volume deposit pada kawasan yang telah dilakukan pemboran dapat dilakukan proses estimasi. Kadar dan atribut yang lain perlu diperhatikan saat proses estimasi berlangsung. Keadaan geologi yang bervariasi mengakibatkan estimasi sulit untuk dilakukan. Sehingga, perlu digunakan beberapa jenis dari metode estimasi yang dirancang untuk tujuan yang berbeda-beda (Chairul, 1994).

Estimasi sumberdaya membutuhkan pertimbangan detail sejumlah masalah kritis. Secara keseluruhan masalah terkait sedemikian rupa sehingga kualitas sumber dapat merepresentasikan daya standar perkiraan dari suatu perusahaan. Ketika salah satu faktornya tidak diperhatikan maka akan mempengaruhi hasil perkiraan sumberdaya yang dilakukan. Kualitas perkiraan sumber daya mineral tergantung pada data yang tersedia dan kompleksitas geologi. Namun, perkiraan sumber daya juga sangat kuat bergantung pada keseluruhan keterampilan teknis dan pengalaman staf tambang, bagaimana masalah yang dihadapi diselesaikan, tingkat perhatian terhadap detail pada setiap tahap, pengungkapan terbuka asumsi dasar beserta pembenarannya, dan kualitas dokumentasi untuk setiap Langkah (Rossi, 2014)

Kualitas estimasi sumberdaya secara langsung bergantung pada kualitas pengumpulan data dan prosedur penanganannya. Konsep kualitas data digunakan secara pragmatis. Dimana konsepnya yaitu data (sampel) dari volume tertentu akan dikumpulkan dan digunakan untuk memprediksi tonase dan kadar elemen yang dianalisis. Keputusan dibuat berdasarkan pengetahuan geologis dan analisis statistik diterapkan dalam hubungannya dengan informasi teknis lainnya. Oleh karena itu, basis

numerik untuk analisis harus berkualitas. Hal ini penting dilakukan karena sebagian kecil dari deposit mineral diambil sampelnya.

Hal lainnya yang perlu diperhatikan adalah bahwa sampel yang diambil dari volume endapan harus representatif. Representatif artinya pengambilan sampel dan penganalisaan proses yang digunakan untuk mendapatkan hasil sampel dalam nilai itu secara statistik mirip dengan yang lain serta dapat diambil dari volume yang sama. Oleh karena itu, nilai sampel dipertimbangkan untuk menjadi representasi yang adil dari nilai sebenarnya dari volume sampel batuan. Representasi dalam arti spasial menyiratkan bahwa sampel telah diambil kira-kira grid sampling biasa atau kuasi-reguler, sehingga setiap sampel mewakili volume atau area serupa di dalam tubuh bijih yang diinginkan. Ini sering tidak terjadi dan beberapa koreksi akan terjadi yg dibutuhkan. Jika sampel tidak representatif, maka terjadi kesalahan akan diperkenalkan yang akan membiaskan perkiraan sumber daya pada tahap akhir (Rossi, 2014).

2.3 Endapan Nikel Laterit

Istilah laterit yang berasal dari Bahasa latin, *later* (batu bata), pertama kali di definisikan oleh Buchanan (1807) untuk mendeskripsikan lempung yang mengeras di India. Saat itu informasi bahwa lempung yang mengeras tersebut mengandung konsentrasi besi yang tinggi. Laterit juga dikenal sebagai tanah yang kaya akan *sesquioxide*, tanah merah yang dekat permukaan ataupun berada di permukaan tanah dan beberapa definisi lain secara mineralogi (Schellman, 1986).

Endapan nikel sekunder atau biasa disebut endapan nikel laterit merupakan suatu endapan yang terbentuk karena adanya proses konsentrasi mineral-mineral berharga yang mengandung nikel yang berasal dari pelapukan batuan asal (*host rock*) oleh gaya-gaya eksogen, seperti pelapukan (*weathering*) akibat sinar matahari, curah hujan dan lain-lain. Hasil pelapukan tersebut mengalami transportasi, pemisahan

(*sorting*) dan akhirnya endapan ini mengalami proses laterisasi yang umumnya terjadi di daerah beriklim tropis. Oleh karena itu tipe endapan nikel laterit cukup berlimpah di Indonesia.

2.3.1 Proses Pembentukan Endapan Nikel

Nikel laterit sangat bergantung pada proses pelapukan, baik secara fisik maupun kimiawi. Pelapukan kimiawi dari batuan induk yang berupa batuan ultrabasa terjadi dengan melepaskan unsur-unsur yang sangat mudah terlarut, seperti magnesium (Mg), kalsium (Ca), dan silika (Si) serta konsentrat-konsentrat dari unsur-unsur yang paling sedikit terlarut seperti Besi (Fe), Nikel (Ni), Mangan (Mn), Kobal (Co), Zeng (Zn), Yodium (Y), Krom (Cr), Aluminium (Al), dan lainnya. Sementara pelapukan mekanik/fisik dari batuan induk terjadi akibat adanya mekanisme rekahan dan patahan yang meningkatkan wilayah yang terdedah ke permukaan sehingga mendukung terjadinya pelapukan kimiawi (Brand et al., 1998).

Transportasi mineral atau unsur terjadi melalui proses pelindian (*leaching*). Proses pelindian unsur-unsur hasil pelapukan dari tubuh batuan atau bijih melalui media air. Proses ini sangat dipengaruhi oleh pH, reaksi reduksi oksidasi, material organik yang terlarut, dan aktivitas mikrobiologi di lingkungannya (McGraw, 2003).

Sumber utama air ialah air hujan yang terinfiltrasi ke dalam tanah atau air rebesan dari sumber air dan air tanah. Air tersebut kemudian meresap hingga zona batas antara limonit dan saprolite, kemudian transportasi larutan terjadi secara lateral. Proses ini melepaskan unsur kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) dalam larutan dan silika (Si) yang cenderung membentuk system koloid dari partikel-partikel silika yang sangat halus sehingga memungkinkan terjadinya pembentukan mineral-mineral baru. Unsur-unsur Ca dan Mg yang terlarut sebagai bikarbonat terbawa ke bawah sampai batas pelapukan dan mengendap sebagai dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) dan magnesit (MgCO_3) yang mengisi rekahan-rekahan pada batuan induk. Urat-urat tersebut dikenal sebagai batas petunjuk

antara zona pelapukan dan zona batuan segar yang disebut dengan istilah akar pelapukan (*root of weathering*).

Fluktuasi muka air tanah yang berlangsung secara kontinu akan melarutkan unsur-unsur Mg dan Si yang terdapat pada bongkah-bongkah batuan asal di zona saprolit sehingga memungkinkan penetrasi air tanah yang lebih dalam. Dalam hal ini zona saprolit semakin bertambah dalam, demikian pula dengan ikatan-ikatan yang mengandung oksida MgO sekitar 30-50% berat dan SiO₂ antara 35-40% berat yang masih terkandung pada bongkah-bongkah dalam zona saprolit akan ikut terlindih bersama-sama dengan aliran air tanah. Dengan demikian, zona saprolit mengalami perubahan pada bagian atas menjadi zona limonit (Marker et al., 1991).

Sebagian unsur tinggal pada tempatnya dan sebagian lain turun bersama larutan. Hal ini terjadi akibat mobilitas setiap unsur yang berbeda-beda. Unsur-unsur Fe, Ni dan Co membentuk konsentrasi residu dan konsentrasi celah pada zona saprolite. Batuan asal ultrabasa pada daerah tersebut di impregnasi oleh Ni melalui larutan yang mengandung Ni sehingga kadar Ni dapat mengikat mencapai 7% berat.

Fe yang terkandung dalam larutan teroksidasi dan mengendap sebagai ferrihidroksida (Fe(OH)₃) membentuk mineral-mineral seperti goetit dan hematit yang berada dekat dengan permukaan. Bersama mineral-mineral tersebut unsur Co ikut serta dalam jumlah yang relatif kecil. Secara vertikal, semakin ke bawah menuju *bed rock*, unsur Fe dan Co mengalami penurunan kadar. Sementara itu, unsur Ni terakumulasi dan terkonsentrasi pada zona saprolit dalam mineral garnierite. Proses konsentrasi ini dapat berbentuk residual maupun *supergen enrichment*.

2.3.2 Profil Endapan Nikel Laterit

Profil endapan nikel laterit secara umum dapat dibedakan dengan analisis profil dari atas ke bawah yaitu:

- 1) *Iron cap (Ferric Crust)*

Iron cap merupakan lapisan teratas dalam profil endapan nikel laterit dan berfungsi untuk melindungi lapisan di bawahnya dari bahaya erosi. Lapisan ini dikenal pula sebagai zona tudung besi (*ferruginous duricrust*) karena mengandung konsentrasi besi yang tinggi.

2) Limonit

Bagian ini dibagi menjadi dua lapisan karena terdapat perbedaan kandungan konsentrasi besi. Lapisan bagian atas disebut limonistik sebab walaupun relatif kaya akan oksida besi, lapisan ini tercampur dengan tanah penutup (*top soil*). Sementara lapisan bagian bawah sangat kaya dengan oksida besi. Pengayaan (*enrichment*) tersebut terjadi akibat proses pelindihan pada pembentukan zona saprolite. Zona limonit merupakan hasil lapukan lebih lanjut dari batuan beku ultramafic yang didominasi oleh oksida besi, goetit, dan magnetit. Ketebalan lapisan limonit berkisar antara 8 – 15 m sehingga sering disebut *overburden*.

3) Saprolit

Zona saprolit merupakan zona yang kaya akan nikel sebagai hasil pelapukan dari batuan asal masih terlihat, dari ukuran kerikil hingga bongkah. Komposisi utamanya antara lain besi oksida, serpentin <0,4%, magnesit, dan kuarsa. Zona saprolit memiliki ketebalan rata-rata antara 5-18 meter. Biasanya ditemui rekahan-rekahan yang berisi magnesit ($MgCO_3$), serpentin, *onyx* (SiO_2), dan garnierite. Zona saprolite dapat dibagi menjadi dua, yaitu (Irwandi, 2018):

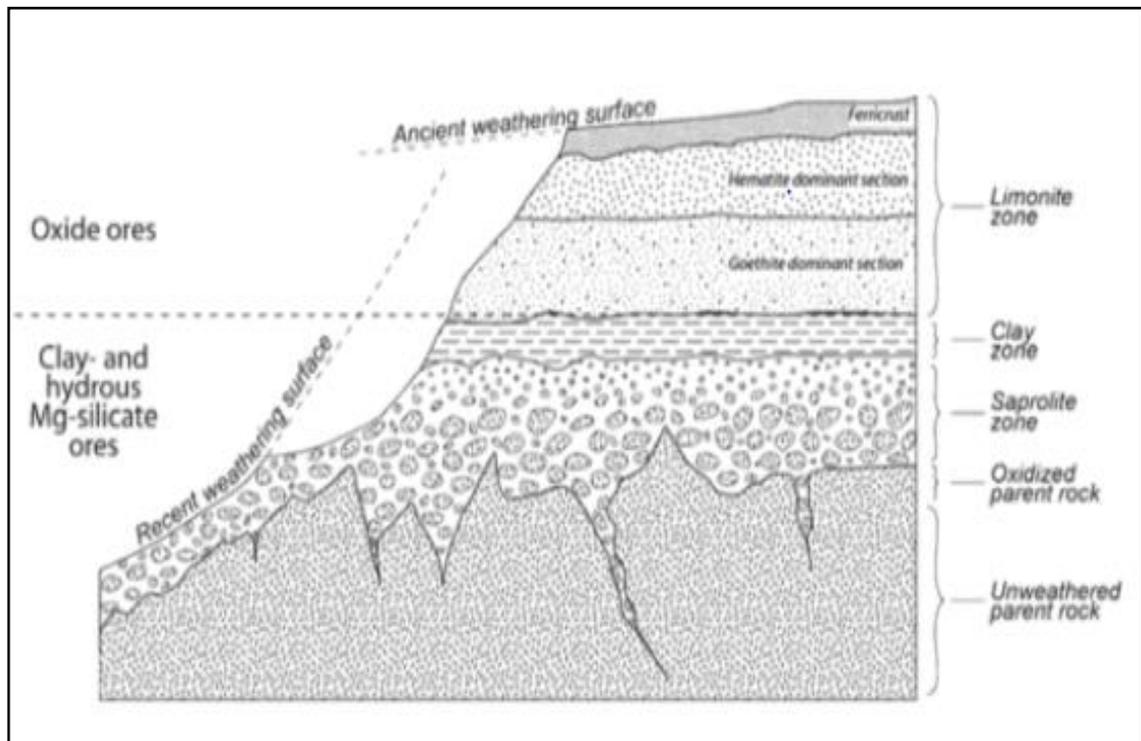
- a) *Sub soft-saprolit*, mengandung fragmen berukuran bongkah kurang dari 25%.
- b) *Sub hard-saprolit*, mengandung fragmen berukuran bongkah lebih dari 50%.

4) *Bed rock/Unweathered parent rock*

Zona ini disebut pula dalam istilah *protholith*, yaitu batuan asal yang terletak pada daerah paling dasar dari profil suatu endapan nikel laterit. Zona ini berupa

batuan ultrabasa, antara lain *harzburgite*, peridotit, atau dunit dengan ukuran bongkahan yang besar, lebih dari 75 cm. Umumnya tidak ditemukan-mineral ekonomis pada zona ini.

Ketebalan endapan laterit umumnya berkisar dari 10 sampai 40 meter dalam berbagai kasus, serta mengandung lebih dari 1% Ni dan kurang dari 0,15%. British Geological Survey (2009) menyatakan kadar kobalt yang ekonomis dalam endapan laterit berkisar antara 0,05-0,15%. Adapun lapisan limonit cenderung mengandung kadar kobalt yang lebih tinggi, sedangkan saprolit mengandung kadar nikel yang lebih tinggi.



Gambar 2.3 Potongan melintang permukaan sebelum dan setelah proses pelapukan nikel (Slack et al., 2017).

Gambar 2.3 merupakan zona litologi dari endapan nikel laterit sekaligus memberikan proses pembentukan nikel laterit sebelum terjadi pelapukan dan setelah pelapukan. Hal tersebut ditandai dengan ore dari endapan yang mengalami pelapukan karena proses oksidasi dengan pengaruh air tanah.

2.4 Analisis Korelasi

Korelasi adalah studi yang membahas tentang derajat hubungan antara dua variabel atau lebih. Besarnya tingkat keeratan hubungan antara dua variabel atau lebih dapat diketahui dengan mencari besarnya angka korelasi yang biasa disebut dengan koefisien korelasi. Untuk mempelajari hubungan antara satu variabel bebas dengan satu variabel terikat tanpa memperdulikan kemungkinan adanya pengaruh ataupun kaitan dengan variabel-variabel lain. Tetapi dalam hal memperhatikan atau memperhitungkan variabel lain, statistika menyediakan suatu alat yang disebut teknik korelasi parsial (Sugiyono, 2014).

Korelasi parsial adalah suatu teknik statistika yang digunakan untuk mempelajari hubungan murni antara sebuah variabel bebas (X_1) dengan variabel terikat (Y) dengan mengendalikan atau mengontrol variabel-variabel bebas yang lain (X_2) yang diduga mempengaruhi hubungan antara variabel (X_1) dengan Y . Dalam analisis korelasi yang dicari adalah koefisien korelasi yaitu angka yang menyatakan derajat hubungan antara variabel independen (X) dengan variabel dependen (Y) atau untuk mengetahui kuat atau lemahnya hubungan antara variabel independen dengan variabel dependen.

Tabel 2.1 Interpretasi koefisien korelasi (Sugiyono, 2014)

No.	Interval Korelasi	Tingkat Hubungan
1.	0,00–0,199	Sangat Rendah
2.	0,2-0,39	rendah
3.	0,40-0,59	Sedang
4.	0,60-0,79	Kuat
5.	0,80-1	Sangat Kuat

Pada Tabel 2.1 menjelaskan tentang tingkat hubungan antara dua atau lebih data yang berbeda berdasarkan analisis statistik secara langsung di lapangan dengan pembagian hubungan mulai dari rendah sampai kuat.

2.5 Geostatistik

Geostatistik adalah cabang statistik yang berfokus pada kumpulan data spasial atau spasial. Awalnya dikembangkan untuk memprediksi distribusi probabilitas nilai bijih untuk operasi penambangan, saat ini diterapkan dalam berbagai disiplin ilmu termasuk geologi perminyakan, hidrogeologi, hidrologi, meteorologi, oseanografi, geokimia, geometris, geografi, kehutanan, pengendalian lingkungan, ekologi lanskap, sains, dan pertanian.

Geostatistik juga merupakan salah satu metode statistik yang dalam implikasinya di dunia pertambangan digunakan untuk menentukan parameter-parameter dalam melakukan proses estimasi sumberdaya. Sifat khusus dari data spasial ini adalah ketakbebasan dan keheterogenan. Ketakbebasan disebabkan oleh adanya perhitungan galat pengamatan dan hasil yang diteliti dalam satu titik ditentukan oleh titik yang lainnya dalam sistem dan keheterogenan disebabkan adanya perbedaan wilayah (Cressie, 1993).

2.6 Metode Estimasi Co-kriging

Istilah kriging dicadangkan untuk estimasi menggunakan data dari atribut yang sama seperti yang diperkirakan. Misalnya, nilai kadar emas tanpa sampel $z(u)$ diperkirakan berdekatan dengan nilai kadar emas.

Co-kriging adalah metode estimasi serupa menggunakan data yang ditentukan pada atribut yang berbeda. Misalnya, kadar emas $z(u)$ diperkirakan dari kombinasi sampel emas dan nilai kadar tembaga. Harus ada korelasi spasial antara variabel primer dan variabel sekunder yang dapat disimpulkan. Seperti halnya saat mempertimbangkan satu variabel, ada tiga varian dasar dari co-kriging yaitu *simple* co-kriging (SCK), *ordinary* co-kriging (OCK), dan co-kriging dengan model tren (CKT). Secara konseptual metode

co-kriging sama seperti metode *kriging* akan tetapi ada variabel tambahan yang digunakan dalam melakukan proses estimasi yakni pertimbangan variabel lainnya (Rossi, 2014).

2.6.1 *Simple* co-kriging

Metode estimasi *simple* co-kriging menggunakan pertimbangan kombinasi linier dari data primer dan nilai data sekunder. Secara matematis variasi estimasi dapat ditulis menggunakan persamaan:

$$y_0(u) = \sum_{i=1}^{n_0} \lambda^0_i \cdot y_0(u_i^0) + \sum_{j=1}^{n_l} \lambda^l_j \cdot y_l(u_j^l) \dots \dots \dots \text{Pers. 2.1}$$

Estimasi persamaan untuk *simple* co-kriging pada dasarnya sama dengan persamaan untuk *simple kriging*, tetapi dengan memperhitungkan kovariansi langsung dan hubungan antar variabel. Seperti sebelumnya, sistem persamaan harus mengarah pada hasil yang valid dan varians co-kriging harus positif yang berarti matriks kovariansi pasti positif. Kondisi terpenuhi saat menggunakan model koregionalisasi yang diizinkan dan tidak ada dua nilai data (dari variabel yang sama) yang dikumpulkan (Rossi, 2014).

2.6.2 *Ordinary* co-kriging

Dalam kasus variabel sekunder tunggal (Y), *Ordinary CO-KRIGING* dari Z(u) dituliskan sebagai berikut:

$$Z_{COK}^*(u) = \sum_{\alpha_1=1}^{n_1} \lambda_{\alpha_1}(u) Z(u_{\alpha_1}) + \sum_{\alpha_2=1}^{n_2} \lambda'^{\alpha_2}(u) Y(u'_{\alpha_2}) \dots \dots \dots \text{Pers. 2.2}$$

Dimana $\alpha_1 \lambda$ adalah bobot yang diterapkan pada sampel n_1 z dan $2'\alpha \lambda'$ adalah bobot yang diterapkan pada sampel n_2 "Y". co-kriging membutuhkan model gabungan untuk matriks fungsi kovarian termasuk kovarians Z-CZ (h), kovarian "Y" CY (h), persilangan kovariansi Z-Y CZY (h) = Cov {Z (u), Y (u + h)}, dan persilangan kovarian Y – Z CYZ (h). Tiga jenis co-kriging yang paling umum digunakan adalah sebagai berikut:

- 1) *Traditional ordinary* co-kriging

Jumlah bobot diterapkan ke variabel utama diatur menjadi satu, dan jumlahnya dari bobot yang diterapkan ke variabel lain diatur ke nol. Dalam kasus dua variabel, kedua kondisi ini dapat dituliskan.

$$\sum_{\alpha_1} \lambda_{\alpha_1}(u) = 1 \text{ dan } \sum_{\alpha_2} \lambda'_{\alpha_2}(u) = 0 \dots\dots\dots \text{Pers. 2.3}$$

Kelemahan dari *traditional ordinary* co-kriging adalah pada penentuan variabel kedua. Pada proses estimasi sumberdaya, variabel primer atau pertama cenderung membatasi pengaruh variabel sekunder (*s*).

2) *Standardized ordinary* co-kriging

Pada jenis *ordinary* co-kriging ini lebih baik dari sebelumnya. Pendekatan terdiri dari pembuatan variabel sekunder baru dengan *mean* yang sama dengan variabel primer dengan kemudian semua bobot dibatasi menjadi satu.

$$Z^*_{COK}(u) = \sum_{\alpha_1=1}^{n_1} \lambda_{\alpha_1}(u)Z(u_{\alpha_1}) + \sum_{\alpha_2=1}^{n_2} \lambda'_{\alpha_2}(u)Y(u'_{\alpha_2}) + m_Z - m$$

Dimana $m_Z = E \{Z(u)\}$ dan $m_Y = E \{Y(u)\}$ adalah sarana stasioner dari Z dan Y.

3) *Simple* co-kriging

Simple co-kriging tidak memiliki batasan pada bobot. Sama seperti metode *simple kriging*, versi co-kriging ini membutuhkan cara pengerjaan RESIDUAL data. Dengan kata lain, pada keseluruhan variabel telah distandarisasi menjadi nol. Kondisi seperti ini merupakan kasus, saat penerapan simple co-kriging dalam metode Gaussian, seperti MG atau UC.

2.7 Kolokasi Co-Kriging

Kolokasi *co-kriging* dibuat dengan menggunakan dua penyederhanaan yakni pertimbangan satu variabel sekunder dan kovarian silang yang diasumsikan linier menggunakan penskalaan varian. Alasan di balik ini adalah nilai "y" yang tersusun pasti

lebih penting dari yang lain nilai "y" tersedia di lingkungan sekitar dan kemungkinan mendapatkan pengaruh beberapa data sekunder. Dengan asumsi ini, variogram silang tidak lagi diperlukan, dan biasa penaksir *co-kriging* ditulis ulang sebagai berikut:

Sistem *co-kriging* yang sesuai membutuhkan pengetahuan tentang hanya kovarian $Z C_z (h)$ dan kovarian silang $Z-Y C_{ZY} (h)$. Pendekatan lebih lanjut melalui model Markov memungkinkan menyederhanakan yang terakhir:

$$C_{ZY}(\mathbf{h}) = B \cdot C_z(\mathbf{h}) \text{ dimana } B = \sqrt{\frac{C_Z(0)}{C_Y(0)}} \cdot \rho_{ZY} \dots \dots \dots \text{ Pers. 2.4}$$

Dimana varians dari Z, Y dan $\rho_{ZY}(0)$ adalah koefisien korelasi linier dari kumpulan data Z-Y. Jika variabel sekunder "y" (u) diambil sampelnya secara padat tetapi tidak tersedia di semua lokasi yang diperkirakan, itu mungkin diperkirakan di lokasi yang hilang tergantung pada data "y". Model Markov menjadi banyak digunakan karena model Kesederhanaan itu. Ini hanya dapat digunakan ketika mengumpulkan data sekunder akan digunakan. Jika data sekunder lancar maka pertimbangan nilai y di luar nilai kolokasi seharusnya tidak membantu.

2.8 Kolokasi *Co-Kriging* Menggunakan *Bayesian Updating*

Bayesian updating adalah teknik yang terkait erat dengan kolokasi *co-kriging*, tetapi dirancang untuk banyak variabel sekunder yang tersedia untuk memprediksi data primer. Adapun langkah-langkahnya dapat dibuat dengan tahapan berikut:

1. Menghitung distribusi ketidakpastian sebelumnya berdasarkan spasial informasi sejenis.
2. Menghitung distribusi kemungkinan dari ketidakpastian berdasarkan informasi multivarian di lokasi yang di prediksi.
3. Menggabungkan distribusi prior dan kemungkinan menjadi distribusi yang diperbarui (posterior).

4. Melakukan pemrosesan pos dengan distribusi yang diperbarui.

Distribusi sebelumnya (ketidakpastian) dihitung sebagai bersyarat distribusi setiap variabel di setiap lokasi tanpa sampel bersyarat ke data sekitarnya dari jenis yang sama. Ini adalah kriging dari data sekitarnya. Distribusi kemungkinan dihitung sebagai syarat distribusi setiap variabel di setiap lokasi tanpa sampel bersyarat untuk tipe data lain di lokasi yang sama. Ini dilakukan dengan menggunakan *co-kriging* atau mungkin beberapa bentuk regresi linier multivariat. Distribusi yang diperbarui dibuat dengan menggabungkan sebelumnya dengan distribusi kemungkinan. Aritmatika persis sama seperti *co-kriging* bertumpuk. Kontribusi terpisah dari data sekunder dan data yang sama variabel lebih mudah dipahami dibandingkan dengan kolokasi *co-kriging*.

Pembaruan Bayesian menarik karena sederhana. Di kasus di mana beberapa variabel sekunder tersedia, di sana adalah beberapa pendekatan yang dapat digunakan dengan kemudahan yang sebanding. Namun, langkah-langkah utama dalam pembaruan Bayesian tetap terlibat, dan meliputi:

1. *Database* data dan perhitungan korelasi
2. Penghitungan kemungkinan menggunakan data sekunder
3. Perhitungan probabilitas sebelumnya dari semua variabel, menggabungkan kemungkinan dan distribusi sebelumnya ke distribusi posterior
4. Validasi silang dan pemeriksaan dan
5. Meringkas ketidakpastian dan menampilkan hasil.