

TESIS

**MODEL GEOSTATISTIK CADANGAN BIJIH NIKEL LATERIT  
DAERAH MAROMBO SULAWESI TENGGARA**

**WERDHI NUNUSARA**

**D062202009**



**PROGRAM STUDI MAGISTER GEOLOGI  
DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2024**



## **PENGAJUAN TESIS**

### **MODEL GEOSTATISTIK CADANGAN BIJIH NIKEL LATERIT DAERAH MAROMBO SULAWESI TENGGARA**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister  
Program Studi Magister Geologi

Disusun dan diajukan oleh

**WERDHI NUNUSARA**

D062202009

Kepada

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK GEOLOGI**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2024**



# TESIS

## MODEL GEOSTATISTIK CADANGAN BIJIH NIKEL LATERIT DAERAH MAROMBO SULAWESI TENGGARA

WERDHI NUNUSARA

D062202009

Telah dipertahankan di hadapan panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam  
rangka penyelesaian studi program Magister Teknik Geologi Fakultas  
Teknik Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 5 April 2024

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

**Pembimbing Utama**



**Prof. Dr. Eng. Adi Maulana, ST., M.Phil**  
NIP : 19800428 200501 1 002

**Pembimbing Pendamping**



**Prof. Dr. Adi Tonggiroh, ST., MT**  
NIP. 19650928 200003 1 002

**Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin**



**Dr. Muhammad Isran**  
**.JPM., ASEAN Eng**  
200012 1 002

**Ketua Program Studi Magister  
Teknik Geologi**



**Dr. Eng. Ir. Meutia Farida, ST., MT**  
NIP: 19731003 200012 2 001

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Werdhi Nunusara  
Nomor Mahasiswa : D062202009  
Program Studi : Teknik Geologi

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul “Model Geostatistik Cadangan Bijih Nikel Laterit Daerah Marombo Sulawesi Tenggara” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Prof.Dr.Eng.Adi Maulana. ST,M.Phil dan Prof. Dr.Adi Tonggiroh.ST.MT). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin

Gowa, April 2024

Yang menyatakan



WERDHI NUNUSARA



## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Segala puji bagi Allah SWT, yang mencurahkan segala kasih dan sayangNya kepada kita semua serta salam dan shalawat tak lupa saya ucapkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, Nabi yang telah membawa kita dari dunia yang gelap gulita dan penuh kehinaan ke alam yang terang benderang dan penuh kemuliaan seperti pada saat ini. Tak lupa penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak **Dr. Eng. Hendra Pachri, ST., MT** sebagai Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Ibu **Dr. Eng. Meutia Farida, ST., MT** sebagai Ketua Program Studi Pasca Sarjana Teknik Geologi Universitas Hasanuddin.
3. Bapak **Prof. Dr. Eng. Adi Maulana, ST., M.Phil** selaku Penasehat Utama yang senantiasa banyak memberikan masukan dalam penyusunan Tesis ini.
4. Bapak **Prof. Dr. Adi Tonggiroh, ST., MT** selaku Penasehat Anggota yang senantiasa memberikan masukan dalam penyusunan Tesis ini.
5. Tim penguji Bapak **Dr. Ir. Musri Ma'waleda, MT., Dr.phil.nat. Sri Widodo, ST.,MT, Dr. Eng. Meutia Farida, ST., MT** yang banyak memberikan masukan dalam penyempurnaan Tesis ini.
6. Seluruh staf dosen pengajar dan pegawai Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin yang telah memberikan arahan kepada penulis selama perkuliahan.



Seluruh teman-teman Program Pascasarjana Teknik Geologi Universitas

Hasanuddin.

Penulis tentu saja tak lepas dari segala keterbatasan dan kesalahan, namun berkat dorongan dan bantuan dari berbagai pihak sehingga tesis ini rampung. Tiada kata yang dapat penulis ucapkan yang lebih pantas selain terima kasih yang sebesar- besarnya kepada kedua orangtuaku. Penulisan tesis ini masih jauh dari kesempurnaan dan memiliki berbagai kekurangan. Oleh karena itu, harapan pada partisipasi aktif berupa kritik dan saran yang bersifat membangun demi penyempurnaannya.

Akhir kata penulis menghaturkan permohonan maaf yang sebesar-besarnya apabila dalam penulisan Tesis ini terdapat kesalahan atau kekhilafan dan kepada semua pihak yang belum sempat penulis sebutkan.

Gowa, April 2024

Penulis

**Werdhi Nunusara**



## ABSTRAK

**WERDHI NUNUSARA.** Model Geostatistik cadangan Bijih Nikel Laterit Daerah Marombo Sulawesi Tenggara (*dibimbing oleh Adi Maulana, Adi Tonggiroh*)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sumberdaya dan cadangan bijih nikel pada Daerah Marombo Sulawesi Tenggara. variasi zonasi bijih nikel yang membutuhkan pengklasifikasian data yang tepat guna. Dalam konteks ini, penerapan metode ordinary kriging (OK) dianggap sebagai pendekatan yang lebih sesuai untuk mengestimasi sumber daya bijih nikel. Tantangan utama terletak pada sifat data yang beragam, karena selain kandungan bijih nikel, terdapat juga unsur-unsur lain dalam sonasi tersebut. Hal ini menyulitkan dalam pengaplikasian batasan matematis. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, alternatif pengolahan data dilakukan dengan memanfaatkan metode ordinary kriging (OK) yang didukung oleh scatter plot, kurva probabilitas kumulatif, serta visualisasi penampang.

Penaksiran sumberdaya bijih nikel metode OK dalam klasifikasi yang didapatkan dari nilai jarak rata-rata (*average distance*). Semakin dekat *average distance* maka dikategorikan sebagai sumberdaya terukur, dan semakin jauh *average distance* maka dikategorikan sebagai sumberdaya terka dan tertunjuk. Estimasi Sumber Daya Mineral daerah penelitian adalah : 1,44 juta wmt (wet metric ton), dengan rincian sumber daya tertunjuk sebesar 0.93 juta wmt.

**Kata Kunci :** *bijih nikel, ordinari krgging, geostatistik, sumberdaya Marombo Sulawesi Tenggara*



## ABSTRACT

**WERDHI NUNUSARA.** Geostatistical Model of Lateritic Nickel Ore Reserves in the Marombo Region, Southeast Sulawesi (supervised by Adi Maulana, Adi Tonggiroh).

This research aims to determine the resources and reserves of nickel ore in the Marombo region of Southeast Sulawesi. The geological conditions of the research area include the presence of nickel ore bodies, which necessitate the classification of data, making the application of the ordinary kriging (OK) method more suitable for estimating nickel ore resources. The challenge lies in the varied characteristics of the data, as the ore body contains not only nickel but also other elements, making the mathematical boundary approach highly complex. Therefore, data processing using the OK technique is complemented with scatter plots, cumulative probability curves, and visualization of cross-sections.

Estimated nickel ore resources using the OK method in classification obtained from the average distance value. The closer the average distance, the more it is categorized as a measured resource, and the farther the average distance, the more it is categorized as an inferred and indicated resource. Estimated Mineral Resources for the research area are: 1.44 million wmt (wet metric tons), with details of indicated resources of 0.93 million wmt .

**Keywords:** nickel ore, ordinary kriging, geostatistics, resources, Marombo, Southeast Sulawesi.



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>PENGAJUAN TESIS.....</b>	<b>ii</b>
<b>PERSETUJUAN TESIS .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	5
1.5 Ruang Lingkup Penelitian .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1 Geologi Regional .....	6
2.1.1 Geomorfologi .....	6
2.1.2 Stratigrafi .....	10
2.2 Geostatistik sebagai Estimasi Cadangan .....	12
2.3 Kontinuitas Spasial .....	14
2.4 Variogram .....	25
2.4.1 Sill (S) and Range (R) .....	16
2.4.2 Nugget .....	16
2.5 Krigging .....	17
2.5.1 Jenis Krigging .....	18
2.6 Pemodelan Geostatistik .....	21
2.7 Sumber Daya Mineral .....	23
2.7.1 Sumberdaya Mineral Tertunjuk (Indicated Mineral Resource) .....	23



2.7.2	Sumberdaya Mineral Terukur (Measured Mineral Resource) .....	24
2.8	Cadangan Mineral (Mineral Reserve) .....	24
2.8.1	Cadangan Mineral Kemungkinan (Probable Mineral Reserve) .....	25
2.8.2	Cadangan Mineral Terbukti ( <i>Proven Mineral Reserve</i> ) .	25
2.9	Klasifikasi Sumberdaya Mineral .....	26
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>		<b>28</b>
3.1	Jenis Penelitian .....	28
3.2	Lokasi Penelitian .....	28
3.3	Alat dan Bahan .....	29
3.4	Teknik Pengumpulan Data .....	30
3.4.1	Studi Pustaka .....	30
3.4.2	Data Lapangan .....	30
3.4.3	Data Laboratorium .....	31
3.5	Teknik Analisis Data .....	32
3.5.1	Eksplorasi Data .....	32
3.5.2	Pembuatan Model Geostatistik .....	32
3.5.3	Metode Estimasi .....	34
3.5.4	Diagnostik .....	34
3.6	Penyusunan Tesis .....	34
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>36</b>
4.1	Basis Data .....	36
4.1.1	Sebaran Data .....	36
4.1.2	Analisa Statistik .....	36
4.2	Verifikasi Data .....	40
4.2.1	Verifikasi Data Collar dan Permukaan Topografi .....	51
4.2.2	Verifikasi Data Eksplorasi .....	51



4.3	Konstruksi Model Blok .....	51
4.3.1	Model Topografi .....	51
4.3.2	Model Geologi .....	45
4.3.3	Model Sumberdaya Nikel Laterit Menggunakan Blok Model .....	51
4.4	Variografi .....	54
4.4.1	Analisis Variogram .....	54
4.4.2	Interpolasi Kadar .....	54
4.4.3	Blok Model .....	55
4.5	Estimasi Sumberdaya Nikel Laterit .....	57
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>69</b>
5.1	Kesimpulan .....	69
5.2	Saran .....	70
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>71</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>73</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Deskripsi statistik bijih nikel pada zona saprolite.....	37
Tabel 4.2 Deskripsi statistik bijih nikel pada zona limonit.....	38
Tabel 4.3 Parameter Elipsoid yang digunakan dalam estimasi.....	64
Tabel 4.4 Hasil elipsoid untuk estimasi .....	65
Tabel 4.5 Dimensi Blok Model.....	66



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pembagian Lajur Geologi Lembar Kendari (Rusmana, dkk, 1993).	10
Gambar 2.2 Scatter plot pada empat lags ke arah utara .....	12
Gambar 2.3 Sill dan efek nugget dalam variogram .....	16
Gambar 2.4 Hasil akhir metode krigging .....	20
Gambar 2.5 Klasifikasi sumberdaya mineral berdasarkan CIM Standing Committee on Reserve Definitions (2010). .....	23
Gambar 2.6 Hubungan umum antara Hasil Eksplorasi, Sumberdaya Mineral dan Cadangan Bijih (JORC, 2012).....	27
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian .....	29
Gambar 3.2 Tahapan Penelitian .....	35
Gambar 4.1 Peta Sebaran Titik Bor Daerah Penelitian.....	36
Gambar 4.2 Histogram assay bijih nikel zona saprolit .....	38
Gambar 4.3 Histogram assay bijih nikel komposit zona saprolit .....	38
Gambar 4.4 Histogram assay bijih nikel zona limonit.....	40
Gambar 4.5 Histogram assay bijih nikel komposit zona limonit.....	40
Gambar 4.6 Model topografi kenampakan horisontal daerah penelitian .....	42
Gambar 4.7 Model topografi bagian timur daerah penelitian .....	43
Gambar 4.8 Model vertikal topografi bagian barat daerah penelitian .....	44
Gambar 4.9 Topografi zona limonit bagian timur .....	46
Gambar 4.10 Topografi zona limonit bagian barat .....	47
Gambar 4.11 Topografi zona saprolit bagian timur .....	48
Gambar 4.12 Topografi zona saprolit bagian barat.....	50
Gambar 4.13 Topografi zona limonit dan zona saprolit .....	51
Gambar 4.14 Model horisontal zona saprolit daerah penelitian .....	53
Gambar 4.15 Model vertikal bijih nikel pada zona limonit bagian timur .....	54
Gambar 4.16 Model vertikal bijih nikel pada zona saprolit bagian barat .....	54
Gambar 4.17 Model Kontinuitas Ni pada zona limonit .....	56



Gambar 4.18 Variogram Ni zona limonit .....	59
Gambar 4.19 Model Kontinuitas Ni pada zona saprolit.....	61
Gambar 4.20 Variogram Ni zona limonit .....	63
Gambar 4.21 Peta Lokasi Section Inspeksi Blok Model.....	66
Gambar 4.22 Penampang Blok Model bagian timur.....	67
Gambar 4.23 Penampang Blok Model bagian utara .....	67
Gambar 4.24 Kurva tonase di zona limonit .....	68
Gambar 4.25 Kurva tonase di zona saprolit .....	68



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Meningkatnya kebutuhan dunia pada bahan tambang nikel laterit berdampak pada produksi bijih nikel yang terdapat di Provinsi Sulawesi Tenggara. Tercatat sejak Tahun 2002 sampai 2016, produksi total bijih nikel mencapai 49.878.617 ton dan ferro nikel sebesar 18.675.570 ton (BPS Sultra,2019).

Meningkatnya kebutuhan nikel laterit, berdampak pada perusahaan yang kian giat melakukan penambangan guna mendapatkan cadangan bijih nikel dengan akurasi tinggi ketepatan volume. Diketahui bahwa berkurangnya nilai kadar logam nikel dan kontinuitas mineraloginya berhubungan dengan kedalaman profil laterit. Akibatnya diperlukan metode perhitungan volume dengan memvariasikan persyaratan kerapatan pengambilan sampel dan tergantung pada bagian mana dari profil laterit yang dievaluasi.

Pengeboran dengan spasi jarak dekat pada area profil, sering menggunakan metode statistik bivariat yang memiliki keterbatasan karena hanya dapat menentukan jarak lubang bor yang sedikit. Menjawab keterbatasan ini, dilakukan pengembangan model kuantitas dengan menggunakan perangkat lunak *surpac* dan *minescape*. Umumnya, kedua perangkat lunak ini digunakan oleh perusahaan



ngan karena data yang dihasilkan mudah untuk dibaca dan dapat sikan dengan berbagai sistem teknologi. Namun dalam analisis

profil nikel laterit, penggunaan software surpac masih membutuhkan software pembanding utamanya dalam permasalahan akurasi nilai cadangan, seperti yang dijumpai pada lokasi penelitian.

Permasalahan akurasi nilai cadangan bijih nikel laterit dalam penelitian ini merupakan alasan menggunakan perangkat lunak geostatistik. Pendugaan cadangan endapan mineral adalah salah satu masalah yang sering dihadapi ahli geolog dan insinyur pertambangan karena kompleksitas geologi pembentukan tubuh bijih (Afeni et al, 2021).

Umumnya, cadangan diperkirakan dengan metode tradisional seperti poligon, prisma segitiga, trapesium, peta isopach, dan bagian geologi. Teknik- teknik ini tidak memungkinkan untuk penentuan keandalan perkiraan. Kesalahan estimasi mungkin tinggi dan nilai rata-rata yang sebenarnya tidak dapat ditentukan. Bila dibandingkan dengan metode geostatistik, metode ini tidak hanya memberikan perkiraan untuk titik mana pun, tetapi juga memungkinkan untuk menemukan koefisien pembobotan untuk blok penambangan tertentu dan juga data konfigurasi yang meminimalkan kesalahan atau dapatkan varians terkait.

enerapan teknik geostatistik dalam konteks pemahaman dan pemodelan distribusi sumber daya mineral, khususnya dalam konteks perencanaan operasi pertambangan. Geostatistik digunakan untuk mengatasi ketidakpastian spasial dan memberikan estimasi yang lebih akurat terkait dengan distribusi mineral di

atau daerah (Mclaren, 2005).



Penelitian cadangan bijih nikel laterit telah dilakukan oleh Asran dan Katsuaki (2012), Permana dkk (2016), Bargawa dan Tobing (2020), Prasetyo dkk (2014). beberapa metodologi dan teknik yang digunakan dalam estimasi cadangan nikel. Faktor-faktor seperti variasi kualitas nikel, struktur geologis, dan karakteristik deposit laterit dianalisis untuk memahami distribusi dan jumlah nikel yang dapat diekstraksi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini mungkin mencakup teknik geostatistik, kriging, dan metode evaluasi sumber daya alam lainnya. Studi kasus ini dapat memberikan wawasan tentang kompleksitas dan tantangan dalam estimasi sumber daya untuk deposit nikel laterit di wilayah tersebut.

Metode geostatistik merupakan penggunaan ekspresi dan notasi matematika dan pemodelan semi variogram karena estimasi cadangan bijih sangat tergantung pada pemodelan secara lokal dan secara keseluruhan. Pentingnya variogram dalam estimasi cadangan nikel terletak pada kemampuannya untuk mengungkapkan struktur spasial deposit laterit. Nilai variogram mencerminkan variasi dan korelasi antara nilai-nilai nikel di berbagai titik dalam deposit. Dengan menganalisis variogram, peneliti dan ahli geostatistik dapat mengidentifikasi jarak spasial di mana nilai nikel cenderung berkorelasi, membentuk model distribusi spasial yang lebih baik. Variogram juga memberikan informasi tentang variasi heterogenitas dan anisotropi dalam deposit, yang sangat penting untuk menentukan strategi pengambilan sampel

ien. Dengan memahami nilai variogram, estimasi cadangan nikel dapat



ditingkatkan, membantu industri pertambangan membuat keputusan yang lebih informatif terkait eksploitasi sumber daya mineral. (A. Permana dkk, 2016)

Tahapan perhitungan cadangan sebagai estimasi sumberdaya nikel laterit di Marombo Sulawesi Tenggara dapat dilakukan dengan menggunakan data pemboran yang berjarak tetap antar titik bor. Jarak tetap pada titik bor dalam konteks estimasi cadangan nikel merujuk pada jarak spasial yang dianggap tetap atau konstan antara titik bor atau lokasi pengukuran. Penentuan jarak tetap ini penting dalam pengambilan sampel dan estimasi cadangan nikel. Hal ini dapat mempengaruhi akurasi dan keandalan estimasi sumber daya Metode geostatistik untuk mendapatkan estimasi sumberdaya yang lebih akurat yang diawali dengan analisis data spasial menggunakan variogram kemudian digunakan dalam proses estimasi Ordinary Krigging

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana nilai variogram endapan nikel laterit ?
2. Bagaimana pemodelan geostatistik cadangan bijih nikel laterit ?
3. Bagaimana estimasi sumberdaya bijih nikel laterit ?

## 1.3 Tujuan Penelitian



tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian, sebagai berikut :  
 nilai variogram endapan nikel laterit.

2. Pemodelan geostatistik sumberdaya bijih nikel laterit.
3. Estimasi sumberdaya bijih nikel laterit.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa perkembangan ilmu geologi terhadap sumberdaya mineral khususnya eksplorasi endapan nikel laterit.
2. Dengan adanya penelitian ini dapat memberikan manfaat berupa tentang nilai kadar dan potensi sumberdaya endapan nikel laterit bagi perusahaan Pertambangan nikel laterit dan pemerintah setempat untuk pengemabngan sumberdaya mineral.

#### **1.5 Ruang Lingkup Penelitian**

Adapun ruang lingkup/batasan dari penelitian ini adalah bagaimana penampang lapisan limonit, lapisan saprolit dan batuan ultramafik pada daerah penelitian dengan menggunakan metode pemboran dan analisis geokimia, sedangkan untuk mengetahui model krigging ditentukan dengan menganalisis data pemboran dengan menggunakan perangkat lunak geostatistik.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Geologi Regional

##### 2.1.1 Geomorfologi

Berdasarkan lembar geologi regional lembar Lasusua, Morfologi daerah Lembar ini dapat dibedakan menjadi empat satuan, yaitu pegunungan, perbukitan, kras (karts) dan dataran rendah. Pegunungan menempati bagian tengah dan barat Lembar, arah punggungnya memanjang barat laut – Tenggara, seperti pegunungan Mekongga, pegunungan Tangkelemboke dan pegunungan Matarombeo. Daerah pegunungan yang batuan penyusunnya terdiri dari batuan malihan dan batugamping umumnya bertonjolan kasar dan tajam, berlereng curam dan sempit, sedangkan daerah pegunungan yang batuan penyusunnya berupa ultramafik umumnya bertonjolan halus dan berlereng tidak begitu curam. Ketinggian puncaknya berkisar dari 750 m sampai 3000 m di atas muka laut, antara lain G. Tangkelemboke (1972) m, G. Watuwila (2500), G. Mekongga (1790) m, G. Tinondo (1800), G. Ranawuwu (851) m, G. Hialu (896 m), G. Matakasi (945 m), G. Andolulo (1100 m) dan G. Tangkesawua (1500 m). pola alirannya secara umum meranting dan setempat sejajar.

Perbukitan terdapat di bagian barat dan timur Lembar sekitar kaki pegunungan dan di P. Muna serta P. Labengke. Satuan ini juga terdapat di antara dan berupa perbukitan landai, umumnya tersusun oleh konglomerat dan ulawesi. Ketinggian satuan ini berkisar dari 75 m sampai 750 m di atas



permukaan laut. Satuan ini biasanya membentuk perbukitan menggelombang yang ditumbuhi semak dan alang-alang. Puncak-puncaknya yang terdapat di satuan morfologi ini diantaranya G. Nipania (490 m), G. Meluhu (517 m) dan G. Tampakura (736), dan beberapa puncak lainnya yang tidak bernama. Sungai di daerah ini berpola aliran meranting.

Morfologi kras (karst) terdapat di pegunungan Metarombeo dan di bagian hulu S. Woimenda serta di P. Labengke. Satuan ini dicirikan oleh sungai bawah tanah dan gua batugamping. Dataran rendah terdapat di daerah pantai dan sepanjang aliran sungai besar dan muaranya, seperti S. Konaweha, S. Lahumbuti, S. sampara dan S. Lasolo. Ketinggiannya berkisar dari beberapa meter sampai 75 m di atas permukaan laut (Rusmana, dkk, 1993).

### 2.1.1.1 Satuan Pegunungan

Satuan morfologi pegunungan menempati bagian yang paling luas dari Sulawesi Tenggara, yang terdiri atas Pegunungan Mekonga, Pegunungan Tangkeleboke, Pegunungan Mendoke, dan Pegunungan Rumbia yang terpisah diujung selatan Lengan Tenggara. Satuan Morfologi ini mempunyai topografi yang kasar dengan kemiringan terjal. Rangkaian pegunungan dalam satuan ini mempunyai pola yang hampir sejajar dengan pola struktur sesar regional di kawasan ini. Pola tersebut mengindikasikan bahwa pembentukan morfologi pegunungan itu erat hubungannya dengan sesar regional.



Satuan Pegunungan terutama dibentuk oleh batuan malihan dan setempat ada ofiolit. Ada perbedaan morfologi yang khas di antara kedua batuan

penyusun itu. Pegunungan yang disusun oleh batuan ofiolit memiliki punggung gunung yang panjang dan lurus dengan lereng relatif lebih rata, serta kemiringan yang tajam. Sementara itu, pegunungan yang dibentuk batuan malihan, punggung gunungnya terputus pendek dengan lereng yang tidak rata walaupun bersudut tajam.

#### **2.1.1.2 Satuan Perbukitan Tinggi**

Satuan morfologi perbukitan tinggi menempati bagian selatan Lengan Tenggara, terutama area Kendari. Satuan terdiri atas bukit-bukit yang mencapai ketinggian 500 Mdpl dengan morfologi kasar. Batuan penyusun berupa batuan sedimen klastika Mesozoikum dan Tersier..

#### **2.1.1.3 Satuan Perbukitan**

Satuan perbukitan memiliki morfologi yang sedang dan pola persebaran luas, satuan ini tersebar di bagian selatan Lengan Tenggara khususnya di area Bombana. Batuan penyusun didominasi oleh batuan sedimen disekitar zona sesar.

#### **2.1.1.4 Morfologi Lokal**

Wilayah penelitian morfologi dengan kelerengan topografi yang bervariasi, yang dapat dikelompokkan ke dalam interval-interval tertentu.

Terbentuknya pola kelerengan tersebut memiliki kaitan erat terhadap kondisi dan struktur geologi. Oleh karenanya, pola kelerengan tertentu dari suatu akan mencerminkan proses dan intensitas pembentukan. Di lain pihak,



kelompok derajat kelerengan dari suatu bentang alam memiliki peran kontrol dalam pembentukan pelapukan suatu batuan, dimana pada kondisi-kondisi tertentu derajat kelerengan suatu wilayah akan mengontrol sirkulasi air beserta reagen-reagen lainnya apakah akan menjadikan air sebagai aliran permukaan (run off) atautkah air akan meresap kedalam lapisan tanah (infiltrasi) yang selanjutnya akan mendukung proses-proses pelapukan batuan didalamnya.

Satuan morfologi perbukitan terjal melampar sepanjang pesisir pantai di bagian tengah hingga utara wilayah blok IUP. Morfologi ditandai dengan kelerengan yang curam berkisar 20 -40% hingga sangat curam >45%. Morfologi tersusun oleh batuan ofiolit ultrabasa.

Satuan morfologi perbukitan landai berada di bagian utara dan selatan wilayah penelitian, ditandai dengan lereng landai 8-15% hingga agak curam 15-25%. Morfologi ini disusun oleh batuan ofiolit ultrabasa.

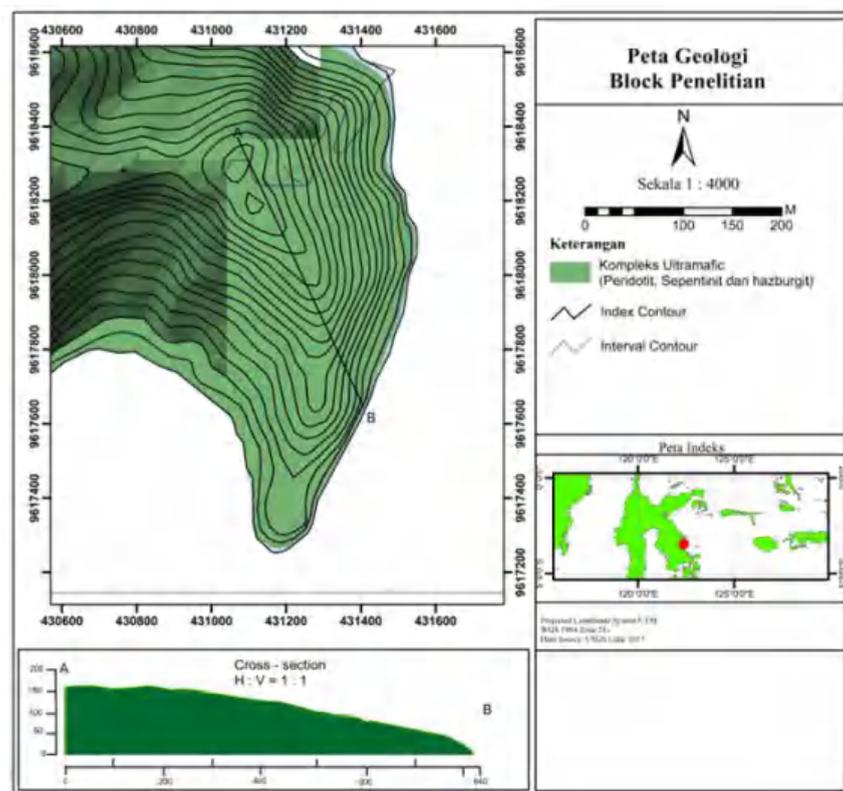
### 2.1.2 Litologi Regional

Litologi regional penelitian termasuk kedalam lembar Lasusua Kendari yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung (1993), menunjukkan bahwa lokasi IUP hanya tersusun atas formasi Batuan Ultramafik (Ku). Batuan Ultramafik (Ku) merupakan batuan yang tersusun oleh jenis batuan Peridotite, Hazburgite, Dunite, Gabro dan Serpentine. Satuan batuan ini diperkirakan berumur Kapur. Peridotite, batuan ini umumnya tersusun atas

mineral holokristalin dengan ukuran Medium- Kasar berbentuk anherdral komposisi mineral terdiri atas Olivine dan Piroksin, mineral penyertanya



berupa plagioklas, hornbende, biotite dan Garnet Peridotite merupakan batuan ultramafic yang mengandung lebih banyak Olivine tetapi juga mengandung mineral-minera mafik lainnya dalam jumlah yang signifikan. Berdasarkan mineral-mineral mafic penyusunnya, maka batuan Peridotite dapat diklasifikasikan sebagai Piroksin Peridotite, Hornblende Peridotite, Mika Peridotite (seperti Kimberlite).



Gambar 2-1 Peta Geologi Wilayah penelitian

## 2.1.2 Stratigrafi



Berdasarkan himpunan batuan dan pencirinya, geologi Pra-Tersier di Lasusua-Kendari dapat dibedakan dalam dua lajur geologi; yaitu Lajur dan Lajur Hialu. Lajur Tinondo dicirikan oleh batuan endapan paparan

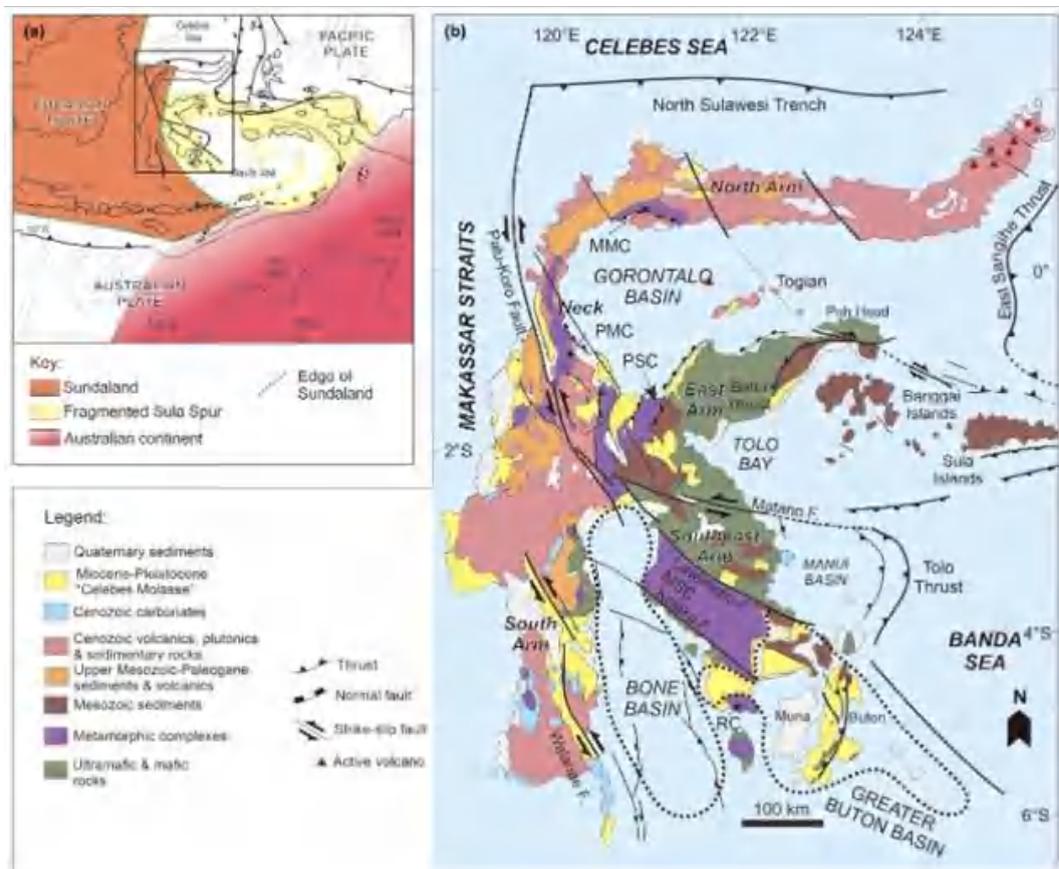
benua, dan lajur Hialu oleh endapan kerak samudra/ofiolit, (**Rusmana. dkk.1993**). Secara garis besar kedua mandala ini dibatasi oleh sesar lasolo (Gambar 2.1).

Batuan yang terdapat di Lajur Tinondo yang merupakan batuan alas adalah batuan malihan Paleozoikum (Pzm) dan diduga berumur Karbon, terdiri dari sekis mika, sekis kuarsa, sekis klorit, sekis mika grafit, batusabak dan genes. Pualam Paleozoikum (Pzmm) menjemari dengan batuan malihan Paleozoikum terutama terdiri dari pualam dan batugamping terdaunkan. Pada Permo-Trias di daerah ini diduga terjadi kegiatan magma yang menghasilkan terobosan apilit kuarsa, latit kuarsa dan andesit Tr (ga), yang menerobos batuan malihan Paleozoikum. Formasi Meluhu (Tr Jm) yang berumur Trias Tengah sampai Jura, secara takselaras menindih batuan malihan Paleozoikum. Formasi ini terdiri dari batupasir kuarsa yang termalihkan lemah dan kuarsit yang setempat bersisipan serpih hitam dan batugamping yang mengandung *Halobia* sp. Dan *Daonella* sp, serta batusabak pada bagian bawah. Pada zaman yang sama terendapkan Formasi Tokala, yang terdiri dari batugamping berlapis dan serpih bersisipan batupasir. Hubungannya dengan Formasi Meluhu adalah menjemari.

Pada Kala Eosen hingga Miosen Tengah, terjadi pengendapan Formasi Salodik (Tems); yang terdiri dari kalkarenit dan setempat batugamping oolit. Batuan yang terdapat di Lajur Hialu adalah batuan ofiolit (Ku) yang terdiri dari peridotit, hazburgit, dunit dan serpentinit. Batuan ofiolit ini tertindi tak

leh Formasi Matano (Km) yang berumur Kapur Akhir, dan terdiri dari ing berlapis bersisipan rijang pada bagian bawahnya.





Gambar 2.2 Pembagian Lajur Geologi Lembar Kendari (Rusmana, dkk, 1993).

## 2.2 Geostatistik sebagai Estimasi Cadangan

Metode geostatistik berguna untuk penilaian lokasi, karakterisasi, dan situasi pemantauan di mana data dikumpulkan secara spasial. Pendekatan yang paling akurat dalam studi geostatistik adalah untuk menerapkan pendekatan tiga



berulang yang melibatkan:

sis data eksplorasi

lihan model variogram, penentuan parameter, dan

- 3) validasi model
- 4) Membuat prediksi berdasarkan simulasi estimasi kriging.

Memperkirakan karakteristik fisik (tonase, kadar, ukuran, bentuk dan lokasi) dari endapan mineral adalah proses yang sangat penting dari tahapan eksplorasi dalam tahapan keseluruhan penambangan. Proses ini melibatkan informasi geologi dan geostatistik untuk menentukan informasi untuk Model Blok Sumber Daya mineral. Informasi geologi ini mengikuti serangkaian standar dan peraturan yang sangat ketat tergantung pada tempat zona bijih ditemukan. Sumber daya mineral diklasifikasikan sebagai terukur, terindikasi dan tersimpul tergantung pada tingkat kepercayaan yang terkait dengan model geologi.

Teknik geostatistik biasanya praktis dalam tahap pengembangan dan produksi proyek pertambangan. Contoh penerapan geostatistik yang sukses diterapkan pada estimasi cadangan tambang bijih besi di baratdaya Algeria dengan acuan sebaran bijih tidak beraturan (Zerzour et al,2021). Endapan Ouensa adalah sumber bijih besi utama untuk industri baja Aljazair, endapan ini memiliki keragaman dalam kandungan mineralnya namun yang terpenting adalah bagaimana estimasi bijih memenuhi standar dan persyaratan pasar. Sehingga eksploitasi efektif dari jenis endapan ini menjadi perhatian utama keekonomian. Keanekaragaman dan disparitas kandungan dalam bijih besi akan kajian ilmiah yang mendalam. Untuk memperkirakan cadangan bijih di deposit Ouensa, metode geostatistik berbasis kriging 3D biasanya digunakan untuk menganalisis nilai 207.723 blok dalam perangkat lunak Surpac



6.2. Hasilnya menunjukkan variabilitas yang signifikan dalam kandungan besi, yang dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kelas. Kelas pertama (miskin bijih besi) dari 30 hingga 40% kandungan bijih besi; kelas kedua (kandungan sedang bijih besi) antara 40 dan 50%, dan kelas ketiga (kaya bijih besi) dari 50 hingga 60%. Proporsi kuantitatif mereka diperkirakan untuk miskin bijih besi sebesar 1,1 MT, untuk bijih besi sedang 4,9 MT dan untuk kaya bijih besi 2,6 MT (Metric Ton).

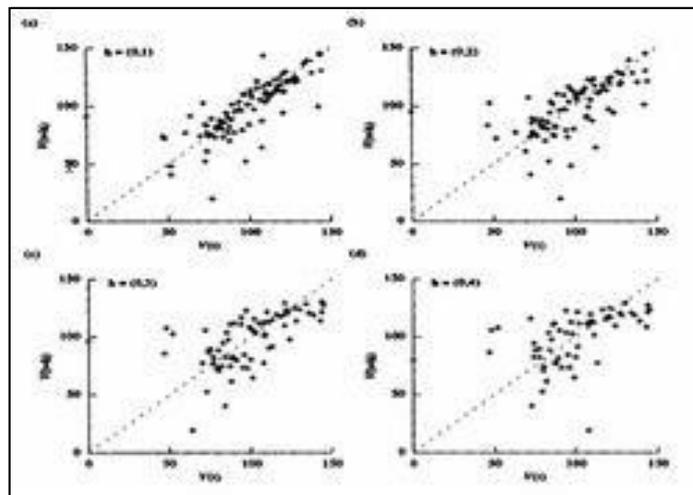
### 2.3 Kontinuitas Spasial

Kontinuitas spasial mengukur kelancaran transisi antara sampel yang berjarak dekat dalam arah tertentu (Myers, 1997) . Dua data uji yang dekat satu sama lain lebih cenderung memiliki nilai yang sama daripada yang berjauhan. Saat menganalisis peta kontur data uji, nilainya biasanya tidak terdistribusi secara acak melainkan, nilai yang lebih rendah cenderung berada di sekitar nilai rendah dan nilai yang lebih tinggi cenderung berada di sekitar nilai tinggi. Memiliki satu nilai yang sangat rendah di sekitar sekelompok nilai yang sangat tinggi menimbulkan anomali data. Dalam menggunakan statistik Plot h-scatter adalah paling utama sebagai vital analisis yang digunakan untuk menggambarkan kontinuitas spasial. Ini menggambarkan hubungan antara nilai satu variabel dan nilai variabel yang sama di lokasi terdekat. Jarak antara pasangan variabel dikenal sebagai lag. Koefisien korelasi pasangan pada setiap

ung. Data dipasangkan ke arah utara. Jarak antar variabel yang in pada grid adalah 1 satuan Utara dan Timur.



Menurut Isaaks (1989), penggambaran variabel dimulai dari plot,  $V(t)$  pada sumbu x adalah sampel awal dan  $V(t+h)$  pada sumbu y adalah sampel berpasangan pada jarak  $h$ . Jelas bahwa ketika lag meningkat yaitu  $h$ , koefisien korelasi plot h-scatter menyimpang dari semakin kecil. Plot d) pada dengan lag  $h = (0,4)$  menunjukkan korelasi terendah karena cloud data adalah yang paling banyak kumpulannya (Gambar 2.2). Plot a) dengan lag  $h = (0,1)$  menunjukkan korelasi tertinggi karena awan sempit yang ditunjukkan oleh titik-titik data. Oleh karena itu, ini menekankan gagasan bahwa dua data uji yang dekat satu sama lain lebih cenderung memiliki nilai yang sama daripada yang berjauhan.



Gambar 2.2 Scatter plot pada empat lags ke arah utara

## 2.4 Variogram

Variogram adalah alat tambahan yang digunakan untuk menggambarkan as khusus dari satu set variabel dalam ruang. Alat tambahan ini akan momen inersia tentang garis  $x=y$  pada grafik untuk setiap



lag melakukan fungsi yang terkait erat dengan plot titik sebaran-h yang rumusnya sebagai berikut :

$$\text{moment of inertia} = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2$$

Momen inersia pada dasarnya adalah ukuran alami dari munculnya banyaknya data yang tak terinterpretasi. Sehingga dalam sebuah plot h-scatter dengan korelasi tinggi umumnya akan memiliki momen inersia yang rendah. Semakin besar simpangan untuk garis  $x=y$ , semakin besar momen inersianya. Pada variogram jarak pisah yang juga dikenal sebagai lag diplot pada sumbu x dan momen inersia pada sumbu y.

#### 2.4.1 *Sill (S) and Range (R)*

*Sill* adalah nilai sumbu y di mana model variogram mendatar. Jarak di mana model mulai mendatar dikenal sebagai rentang. Semua sampel dengan jarak pisah lebih kecil dari rentang diautokorelasi dan sampel dengan jarak terpisah lebih besar dari kerentangan data. Semakin besar rentang semakin tinggi korelasi sampel.

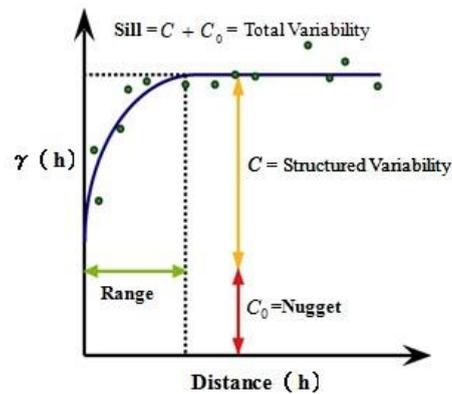
#### 2.4.2 *Nugget*

Nugget memunculkan model variogram memotong sumbu y. Secara teori nugget diharapkan menjadi nol karena tidak boleh ada variasi pada pemisahan nol ( $\text{lag} = 0$ ) antara sampel. Efek nugget dapat dikaitkan

kesalahan pengukuran atau sumber variasi spasial pada jarak



yang lebih kecil dari dari interval pengambilan sampel atau keduanya (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Sill dan efek nugget dalam variogram

## 2.5 Kriging

Metode *kriging* digunakan oleh G. Matheron pada tahun 1960-an, untuk menonjolkan metode khusus dalam moving average terbobot (*weighted moving average*) yang meminimalkan variansi dari hasil estimasi.

Kriging adalah metode estimasi geostatistik yang dikembangkan untuk memberikan estimasi linier dan tidak bias yang optimal. Itu tergantung pada ekspresi variasi spasial properti dalam hal variogram (*correlogram*), dan meminimalkan kesalahan prediksi, yang kemudian diperkirakan. Dalam model blok yang diestimasi, kriging mempertimbangkan kovarians di antara sampel, yang kemudian akan mengurangi bobot sekelompok sampel, meminimalkan efek jarak sampel variabel. Efektivitas kriging tergantung pada input yang benar dari parameter yang menggambarkan model variogram (atau semivariogram) karena

uat tetapi juga rapuh, bahkan pemilihan parameter yang naif akan an perkiraan yang sebanding dengan banyak prosedur estimasi grid



Secara umum, *kriging* merupakan suatu metode yang digunakan untuk menganalisis data geostatistik, yaitu untuk menginterpolasi suatu nilai kandungan mineral berdasarkan data sampel. Data sampel pada ilmu kebumihannya biasanya diambil di lokasi-lokasi atau titik-titik yang tidak beraturan. Dengan kata lain, metode ini digunakan untuk mengestimasi besarnya nilai karakteristik  $Z$  pada titik tidak tersampel berdasarkan informasi dari karakteristik titik-titik tersampel  $Z$  yang berada di sekitarnya dengan mempertimbangkan korelasi spasial yang ada dalam data tersebut.

Estimator *kriging*  $Z(s)$  dari  $Z(s)$  dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\hat{Z}(s) - m(s) = \sum_i^n \lambda_i [Z(s_i) - m(s_i)] = 1$$

dengan:

- $s$  : lokasi untuk estimasi dan
- $s_i$  : salah satu lokasi dari data yang berdekatan, dinyatakan dengan  $i$
- $m(s)$  : nilai ekspektasi dari  $Z(s)$
- $m(s_i)$  : nilai ekspektasi dari  $Z(s_i)$
- $\lambda_i$  : faktor bobot yang menentukan jarak antar titik
- $n$  : banyaknya data sampel yang digunakan untuk estimasi (Bohling, 2005:4).

Estimasi *kriging* untuk sisa pada  $s$  adalah jumlah berbobot dari sisa pada sekitar data titik. Nilai  $\lambda_i$  diturunkan dari fungsi kovariansi atau semivariogram, is mencirikan komponen sisa.



tujuan *kriging* adalah untuk menentukan nilai  $\lambda_i$  yang meminimalkan pada estimator, dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\hat{\sigma}^2 = \text{var}\{\hat{Z}(s) - Z(s_e)\}$$

### 2.5.1 Jenis Kriging

**Simple Kriging.** Pada metode Simple Kriging atau dengan kata lain kriging sederhana. Metode Simple Kriging merupakan metode kriging dengan asumsi nilai rata-rata atau mean ( $\mu$ ) diketahui dan bernilai konstan di mana estimator harus tak-bias dan variansi minimum.

**Ordinary Kriging.** Ordinary Kriging adalah metode yang sangat andal dan biasanya direkomendasikan untuk sebagian besar kumpulan data, ini mengasumsikan bahwa kumpulan data memiliki variansi stasioner tetapi juga nilai rata-rata non- stasioner dalam radius pencarian. Metode ini pertama-tama menggunakan grid geostatistik yang biasanya grid centered dengan hasil keluaran yang terletak pada titik-titik. Data masukan yang digunakan dalam kriging (misalnya sampel lubang bor) harus disajikan dengan lokasi tertentu sehingga sesuai dengan titik grid lokasi x dan y (utara dan timur seperti pada gambar di sebelah kanan). Estimasi kriging tidak boleh secara sistematis lebih tinggi atau lebih rendah dari nilai sebenarnya yang digunakan, itulah sebabnya bobot kriging dihitung dengan menyelesaikan serangkaian persamaan yang ditunjukkan di bawah ini yang meminimalkan variansi dari kesalahan estimasi.

*Ordinary kriging* terdapat pada metode *kriging* yang sering digunakan pada geostatistik. Pada metode ini, memiliki asumsi khas untuk penerapan yang



gunakan dari *ordinary kriging* adalah *intrinsic stationarity* dari bidang gamatan yang cukup untuk mengestimasi variogram. Rumus yang n, sebagai berikut :

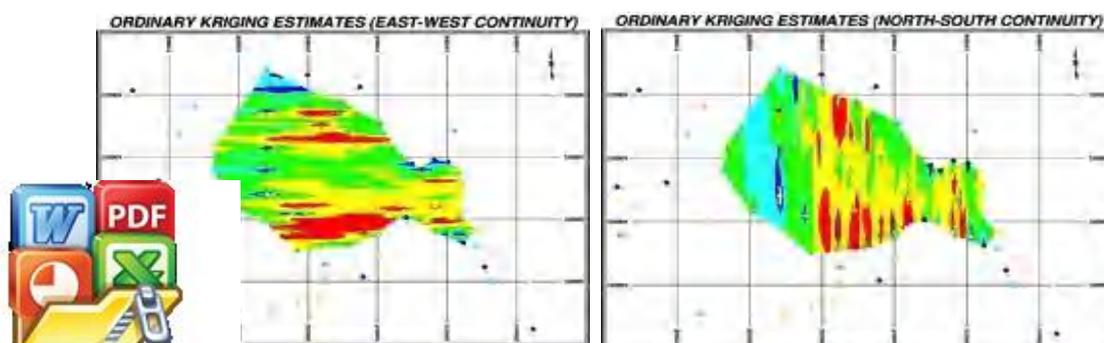
$$g^* = \sum_{i=1}^n w_i * g_i \qquad \sum_{i=1}^n w_i = 1 \qquad R = g^* - G$$

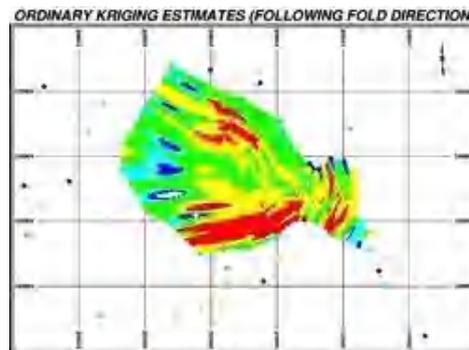
$w_i = \text{weights}, g^* = \text{estimate}, R = \text{estimate error}$

Kriging menggunakan satu set persamaan linier simultan untuk setiap titik pada grid output sedemikian rupa sehingga semua data input aktual dibobot secara optimal menurut jarak menggunakan semivariogram. Persamaan ini sering ditulis menggunakan notasi matriks, matriks korelasi di sisi kiri mencatat semua redundansi antara sampel, dan memastikan bahwa bobot kriging mempertimbangkan pengelompokan sampel. Adapun persamaannya, sebagai berikut :

$$\underbrace{\begin{bmatrix} C_{11} & \dots & C_{1n} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ C_{n1} & \dots & C_{nn} & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix}}_{\text{Sample redundancy}} \times \underbrace{\begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \\ \mu \end{bmatrix}}_{\text{Kriging weights}} = \underbrace{\begin{bmatrix} C_{01} \\ \vdots \\ C_{0n} \\ 1 \end{bmatrix}}_{\text{Statistical distance}}$$

Perkiraan kriged dapat direpresentasikan secara grafis dalam grid geostatistik yang ditunjukkan di bawah ini untuk memberikan pengetahuan geologi. Kunci dari kriging bukan hanya memberikan interpretasi tetapi interpretasi yang lebih optimal, oleh karena itu modifikasi dapat dilakukan untuk membuat variasi dalam hal anisotropi dan penyertaan tren, hal ini ditunjukkan oleh perkiraan grafis di bawah ini sesuai dengan arah kontinuitas yang diikuti di variogram (Gambar 2.4).





Gambar 2.4 Hasil akhir metode kriging

**Universal Kriging.** Metode ini memasukkan tren ke dalam kriging. Universal Kriging melibatkan proses dua tahap di mana permukaan yang mewakili penyimpangan data dibangun pada tahap pertama dan residu untuk permukaan ini dihitung pada tahap kedua. Dengan metode ini, pengguna dapat mengatur ekspresi polinomial yang digunakan untuk mewakili permukaan drift.

Indikator atau probabilitas metode kriging ini diterapkan untuk meningkatkan estimasi ketika zona bijih yang tidak menentu dan distribusi kadar sangat bervariasi dan kompleks. Hal ini karena metode ini sangat akurat dalam mengestimasi distribusi kadar non-standar dan terbukti perkiraan yang kurang mulus dibandingkan dengan kriging biasa.

## 2.6 Pemodelan Geostatistik

Model Geostatistik merupakan model blok yang dibuat dengan menggunakan data geologi yang dikumpulkan melalui pengeboran zona bijih prospektif. Model blok pada dasarnya adalah satu set "blok" berukuran khusus



untuk badan bijih termineralisasi. Meskipun semua balok memiliki ukuran yang sama, karakteristik setiap balok berbeda. Tingkat, kepadatan, jenis

batuan, dan kepercayaan diri semuanya unik untuk setiap blok dalam keseluruhan model blok. Contoh model blok ditampilkan di sebelah kanan. Setelah model blok dikembangkan dan dianalisis, digunakan untuk menentukan sumber daya dan cadangan bijih (dengan pertimbangan ekonomi proyek) dari badan bijih termineralisasi. Sumber daya dan cadangan mineral dapat diklasifikasikan lebih lanjut tergantung pada kepercayaan geologisnya.

Semi variogram sebagai alat dasar pembuatan model geostatistik yang bergantung pada interpretasi dan tahapan prosedur estimasi cadangan bijih (Annels,1991). Metode geostatistik digunakan untuk menganalisa karakteristik cebakan mineral dengan menggunakan dua cara yakni statistik klasik dan statistik spasial. Dengan menggunakan dasar teori statistik spasial, ilmu geostatistik berkembang dan diaplikasikan untuk endapan mineral atau pertambangan. Analisis variografi dilakukan dengan membuat variogram untuk yang mewakili arah utama sebaran nikel pada lapisan saprolit dan limonit. Variogram directional mengindikasikan bahwa kadar nikel tersebar pada kedua lapisan tersebut dan tidak menunjukkan kecenderungan pada arah tertentu. Parameter variogram dipergunakan sebagai dasar analisis geostatistik untuk melakukan estimasi arah sebaran kadar nikel. Arah sebaran bijih nikel diidentifikasi dengan faktor yang mengendalikan distribusi kadar (Asran dan Katsuaki,2012).

Gambar dan peta tersimpan dan tersajikan secara digital menggunakan terapan seperti CAD ataupun GIS. maka hitungan panjang, luas dan dari satu gambar ataupun peta bisa diperoleh dengan mudah

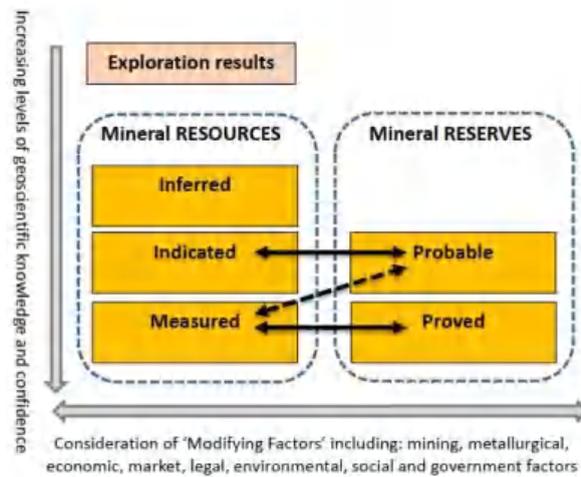


menggunakan program-program yang disediakan. Gambar yang dihitung luasnya bisa berupa gambar potongan, gambar kawasan yang dibatasi oleh garis kontur. Tahapan perhitungan cadangan dalam analisis geostatistik secara umum meliputi; pengamatan data lapangan, variografi, dan perhitungan variansi perkiraan dan variansi krigging

## 2.7 Sumber Daya Mineral

Sumber daya mineral dapat dijelaskan sebagai konsentrasi atau keberadaan mineral, bahan anorganik padat alami, atau bahan organik fosil padat alami termasuk logam dasar dan mulia, batu bara, dan mineral industri di dalam atau di kerak bumi dalam bentuk dan jumlah tertentu dan kelas atau kualitas yang memiliki prospek yang wajar untuk ekstraksi ekonomi. Lokasi, kuantitas, kadar, karakteristik geologi dan kontinuitas sumber daya mineral diketahui, diperkirakan atau ditafsirkan dari bukti dan pengetahuan geologi tertentu. Gambar 2.5, menunjukkan klasifikasi sumberdaya mineral Berdasarkan CIM Definition Standards - For Mineral Resources and Mineral Reserves (2010).





Gambar 2.5 Klasifikasi sumberdaya mineral berdasarkan CIM Standing Committee on Reserve Definitions (2010).

### 2.7.1 Sumberdaya Mineral Tertunjuk (*Indicated Mineral Resource*)

Sumber daya mineral terindikasi adalah bagian dari Sumber Daya Mineral yang kuantitas, kadar atau kualitasnya, kepadatan, bentuk dan karakteristik fisiknya, dapat diperkirakan dengan tingkat kepercayaan yang cukup untuk memungkinkan penerapan parameter teknis dan ekonomi yang tepat, untuk mendukung perencanaan tambang, dan evaluasi kelayakan ekonomi dari endapan tersebut. Estimasi ini didasarkan pada informasi eksplorasi dan pengujian yang terperinci dan andal yang dikumpulkan melalui teknik yang tepat dari lokasi seperti singkapan, parit, lubang, lubang kerja dan lubang bor yang berjarak cukup dekat untuk kontinuitas geologis dan kadar yang dapat diasumsikan secara wajar.

### 2.7.2 Sumberdaya Mineral Terukur (*Measured Mineral Resource*)



Sumberdaya mineral terukur adalah bagian dari Sumberdaya Mineral yang kuantitas, kadar atau kualitasnya, kepadatan, bentuk, dan karakteristik fisiknya

telah ditetapkan dengan baik. Sehingga dapat diperkirakan dengan cukup meyakinkan untuk memungkinkan penerapan parameter teknis dan ekonomi yang tepat, untuk mendukung perencanaan produksi dan evaluasi kelayakan ekonomi dari deposit. Perkiraan ini didasarkan pada informasi eksplorasi, pengambilan sampel, dan pengujian yang terperinci dan andal yang dikumpulkan melalui teknik yang tepat dari lokasi seperti singkapan, parit, lubang, lubang kerja, dan lubang bor yang berjarak cukup dekat untuk memastikan kontinuitas geologis dan kadar.

## 2.8 Cadangan Mineral (*Mineral Reserve*)

Cadangan Mineral adalah bagian yang dapat ditambang secara ekonomis dari Sumber Daya Mineral Terukur atau Tertunjuk yang ditunjukkan oleh setidaknya Studi Awal Kelayakan. Studi ini harus mencakup informasi yang memadai tentang pertambangan, pengolahan, metalurgi, ekonomi dan faktor relevan lainnya yang menunjukkan, pada saat pelaporan, bahwa secara ekonomi dapat dilanjutkan. Cadangan Mineral mencakup proses ekstraksi dan nilai kerugian yang mungkin terjadi ketika mineral tersebut ditambang.

Berdasarkan CIM Standing Committee on Reserve Definitions. (2010). CIM Definition Standards - For Mineral Resources and Mineral Reserves, kalsifikasi cadangan mineral, sebagai berikut :

### 2.8.1 Cadangan Mineral Kemungkinan (*Probable Mineral Reserve*)



Cadangan mineral terkira adalah bagian yang dapat ditambang secara ekonomis dari Sumberdaya Mineral Tertunjuk dan, dalam beberapa keadaan,

yang ditunjukkan oleh setidaknya Studi Kelayakan Awal. Studi ini harus mencakup informasi yang memadai tentang pertambangan, pengolahan, metalurgi, ekonomi, dan faktor relevan lainnya yang menunjukkan, pada saat pelaporan, bahwa ekstraksi secara ekonomi menguntungkan.

### 2.8.2 Cadangan Mineral Terbukti (*Proven Mineral Reserve*)

Cadangan mineral terbukti adalah bagian yang dapat ditambang secara ekonomis dari Sumber Daya Mineral Terukur yang ditunjukkan oleh setidaknya Studi Kelayakan Awal. Studi ini harus mencakup informasi yang memadai tentang pertambangan, pengolahan, metalurgi, ekonomi, dan faktor relevan lainnya yang menunjukkan, pada saat pelaporan, bahwa ekstraksi secara ekonomi menguntungkan.

## 2.9 Klasifikasi Sumberdaya Mineral

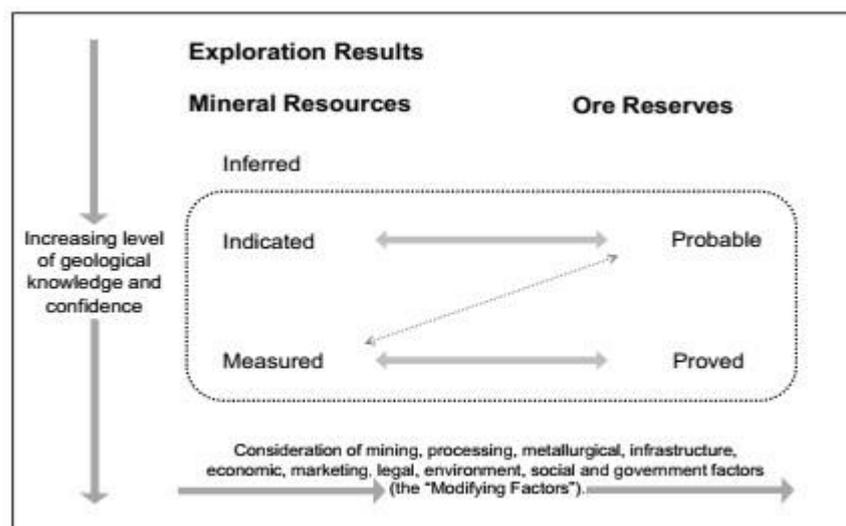
Umumnya cadangan (*reserved*) mengacu pada penemuan bahan galian yang dapat diperoleh kembali secara komersial menggunakan teknologi yang ada, sedangkan "sumber daya" (*resources*) belum layak secara komersial atau hanya spekulasi. Oleh karena itu untuk meningkatkan sebuah sumberdaya pada bahan galian, maka memerlukan informasi baru yang menunjukkan adanya cadangan yang lebih besar dari yang diperkirakan sebelumnya.

Standarisasi laporan hasil eksplorasi, sumberdaya mineral dan cadangan lebih yang dikeluarkan oleh Negara Australia JORC ('the JORC Code'). Dokumen akan kode praktek profesional yang menetapkan standar minimum laporan Publik Hasil Eksplorasi mineral, Sumber Daya Mineral dan



Cadangan Bijih (Gambar 2.6). Mencakup beberapa kewajiban dalam isi pelaporan berdasarkan tingkat kepercayaan pengetahuan geologi dan pertimbangan teknis dan ekonomi. Bertujuan dapat digunakan untuk publik, utamanya dalam perdagangan bijih mineral di dunia internasional. Contohnya : menginformasikan kepada investor maupun calon investor.

Kode JORC dibuat pada tahun 1971 oleh Gabungan Komite Cadangan Bijih Australasia ('Komite JORC'). Komitennya terdiri dari : The Minerals Council of Australia (MCA), The Australasian Institute of Mining and Metallurgy (The AusIMM), and the Australian Institute of Geoscientists (AIG); Australian Securities Exchange (ASX), Financial Services Institute of Australasia (FinSIA) dan akunting profesional Association of Mining and Exploration Companies (AMEC).



Gambar 2.6 Hubungan umum antara Hasil Eksplorasi, Sumberdaya Mineral dan Cadangan Bijih (JORC, 2012)



tripping Ratio

Stripping ratio (SR) mengacu pada jumlah limbah yang harus dibuang untuk sejumlah bijih yang dikeluarkan dalam pertambangan terbuka.

Ini biasanya diungkapkan sebagai:

$$SR = \text{Limbah (ons)}/\text{Bijih (ton)}$$

Berbagai unit lain juga digunakan. Dalam operasi pertambangan batubara terbuka, sering terlihat:

$$SR = \text{Ketebalan Overburden (ft)}/\text{Ketebalan Batubara (ft)}$$

$$SR = \text{Overburden (yd}^3\text{)}/\text{Batubara (ton)}$$

- Stripping ratio instan : Stripping ratio untuk push back tertentu
- Stripping ratio keseluruhan : Stripping ratio untuk total jumlah material yang diangkut
- Break-even stripping ratio : Stripping ratio instan di titik di mana biaya pembuangan limbah sama dengan nilai bijih yang terbuka

### **BAB III**

## **METODE PENELITIAN**

### **3.1 Jenis Penelitian**

Observasi lapangan dilakukan untuk mengetahui permasalahan sebaran endapan nikel laterit yang diketahui ada perbedaan pada proses pembentukannya. Selanjutnya dilakukan pendekatan kuantitatif untuk mengetahui perubahan nilai kadar nikel. Kajian pustaka, hasil observasi dan data peneliti terdahulu dikelompokkan sebagai kuantitatif dalam kajian analisis

limonit, dan saprolit.



**okasi Penelitian**