

**ESTIMASI SUMBERDAYA TERUKUR ENDAPAN BIJIH NIKEL  
LATERIT DENGAN METODE GEOSTATISTIK (*ORDINARY  
KRIGING*) BERDASARKAN PERTIMBANGAN PENGARUH  
KEMIRINGAN LERENG TERHADAP  
SEBARAN KADAR NIKEL**

(STUDI KASUS: BLOK E PT SINAR JAYA SULTRA UTAMA,  
DESA WATURAMBAHA, KABUPATEN KONawe UTARA,  
PROVINSI SULAWESI TENGGARA)

**SKRIPSI**



**OLEH:**

**HALILINTAR RANGGA SWARA**

**D621 16 015**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERTAMBANGAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**



**GOWA**

**2020**

## Halaman Pengesahan



**HALILINTAR RANGGA SWARA**  
NIM. D62116015

**ESTIMASI SUMBERDAYA TERUKUR ENDAPAN BIJIH NIKEL LATERIT  
DENGAN METODE GEOSTATISTIK (*ORDINARY KRIGING*) BERDASARKAN  
PERTIMBANGAN PENGARUH KEMIRINGAN LERENG  
TERHADAP SEBARAN KADAR NIKEL**

(STUDI KASUS: BLOK E PT SINAR JAYA SULTRA UTAMA,  
DESA WATURAMBAHA KABUPATEN KONAWE UTARA  
PROVINSI SULAWESI TENGGARA)

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S-1)  
pada Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Disetujui di Gowa, Juli 2020

Disetujui oleh,

Pembimbing I

Asran Ilyas, ST. MT. Ph.D.  
NIP. 19730314 200012 1 001

Pembimbing II

Dr. Ir. Irzal Nur, MT.  
NIP. 19660409 199703 1 002

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Pertambangan

Dr. Eng. Ir. Purwanto, ST, MT  
NIP. 19711128 200501 1 002



Optimization Software:  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Halilintar Rangga Swara  
Nim : D62116015  
Fakultas/Departemen : Teknik Pertambangan  
Judul Skripsi : "ESTIMASI SUMBERDAYA TERUKUR ENDAPA BIJIH NIKEL LATERIT DENGAN METODE GEOSTATISTIK (ORDINARY KRIGING) BERDASARKAN PERTIMBANGAN PENGARUH KEMIRINGAN LERENG TERHADAP SEBARAN KADAR NIKEL" (STUDI KASUS: BLOK E PT SINAR JAYA SULTRA UTAMA DESA WATURAMBAHA, KABUPATEN KONAWE UTARA, PROVINSI SULAWESI SELATAN."

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan Skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri, baik untuk naskah, laporan maupun pengolahan data yang tercantum sebagai salah satu bagian dari Skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain maka saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari pihak kampus. Pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Gowa, 07 Juli 2020

Yang membuat Pernyataan

  
  
**HALILINTAR RANGGA SWARA**

NIM. D62116015



## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahimm*

*Assalamualaikum wr wb*

Puji dan syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya yang telah diberikan kepada kita semua sehingga segala aktivitas yang kita lakukan dapat berjalan sesuai kodrat yang telah ditentukan oleh-Nya. Shalawat dan salam senantiasa kita haturkan kepada sang tauladan, sang revolusioner, sang pembawa obor keselamatan Rasulullah Nabi Muhammad SAW yang telah mengangkat derajat manusia dari lembah kejahilisan ke puncak kemuliaan.

Laporan Tugas Akhir dengan judul "Estimasi Sumberdaya Terukur Endapan Bijih Nikel Laterit Dengan Metode Geostatistik (*Ordinary kriging*) Berdasarkan Pertimbangan Pengaruh Kemiringan Lereng Terhadap Sebaran Kadar Nikel (Studi Kasus: Blok E Pt Sinar Jaya Sultra Utama, Desa Waturambaha Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara)" dapat diselesaikan dengan berbagai suka dan duka yang dilalui dalam proses penyusunannya.

Tidak ada kata yang layak untuk menggambarkan besarnya rasa terima kasih penulis bagi semua pihak yang telah memberikan dukungan, tenaga, serta ilmunya dalam penyusunan skripsi yang sederhana ini. Penulis berharap dengan selesainya laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan berkat bagi semua pihak yang terlibat dalam penyusunan laporan ini.

Terima kasih yang tak terhingga kepada kedua orang tua penulis (Bapak Ahmad Dahlan dan Ibu Jumriah Zainuddin S,Pd) atas semua yang telah diberikan kepada penulis

andung badan sampai sekarang. Terima kasih pula penulis haturkan kepada penulis Ringga Damara Aprilia Swara atas dukungan dan semangat yang telah kepada penulis selama ini.



Terima kasih pula penulis sampaikan kepada Bapak Asran Ilyas, ST. MT. Ph.D. selaku Pembimbing I penulis yang senantiasa memberikan arahan dan motivasi bagi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Terima Kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, MT. selaku Kepala Lab. Eksplorasi serta pembimbing penulis di Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin telah menjadi motivasi bagi penulis untuk terus belajar dan menuntut ilmu selama penulis berkuliah di Departemen Teknik Pertambangan. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih serta mengirimkan doa semoga beliau senantiasa diberkati oleh Tuhan dan senantiasa diberikan kesehatan.

Terkhusus untuk teman-teman di Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin Angkatan 2016 (Rockbolt 2016) yang telah menemani penulis dikala sedih dan bahagia, penulis mengucapkan terima kasih atas segala hal yang telah dilalui bersama. Tetap semangat dalam jalannya masing-masing semoga kekeluargaan yang telah dibangun selama ini di atas panji yang sama masih terus terasah sampai akhir hayat.

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 Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua, Amin.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Gowa, Juli 2020



Halilintar Rangka Swara

## ABSTRAK

Endapan nikel laterit merupakan salah satu endapan penghasil nikel dunia di samping endapan nikel sulfida. Endapan ini diproyeksikan dapat memenuhi permintaan nikel dunia yang mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Sejalan dengan hal tersebut, maka perlu dilakukan kajian estimasi sumberdaya endapan ini secara lebih mendalam dengan melakukan identifikasi terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan dan distribusi kadarnya. Salah satu faktor tersebut adalah kemiringan lereng topografi. Penelitian pada skripsi ini mencoba menggali pengaruh tersebut dalam meningkatkan estimasi sumberdaya endapan ini secara lebih baik. Untuk memperoleh hal ini, maka digunakanlah metode geostatistik (*ordinary kriging*) yang diketahui memiliki teknik prediksi yang lebih baik karena mempertimbangkan sepenuhnya hubungan spasial endapan. Salah satu lokasi sebaran endapan ini yang sangat berlimpah adalah terdapat di Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara, tepatnya di lokasi tambang PT Sinar Jaya Sultra Utama, sehingga lokasi ini dipilih sebagai lokasi daerah penelitian. Hasil dari penelitian ini menemukan bahwa terdapat *trend* yang kuat antara ketebalan zona limonit dengan kemiringan lereng, di mana ketebalan zona limonit akan bertambah seiring dengan menurunnya derajat kemiringan lereng. Hasil ini dipakai sebagai dasar penggunaan pengaruh kelerengan untuk melakukan estimasi. Dari hasil penelitian, diperoleh estimasi sumberdaya endapan nikel laterit di daerah penelitian adalah sebesar 1.445.827 ton.

Kata kunci: Estimasi sumberdaya mineral, endapan nikel laterit, kelerengan topografi, *ordinary kriging*, Konawe Utara.



## **ABSTRACT**

*Laterite nickel deposits are one of the world's nickel-producing beside sulfide deposits.. This deposit is projected to meet the world nickel demand which has increased from the last few decades. In line with this, it is necessary to improve a more accurate study of its estimation resources by identifying the factors that influence the formation and distribution of Ni grade. One such factor is the slope of topography. The research in this thesis tries to explore this influence for a better estimation results. To obtain this, an ordinary kriging method is used which is known to have better prediction techniques because it takes full account of the spatial correlation. One of the most abundant distribution of this deposit is located in North Konawe Regency, Southeast Sulawesi Province, precisely at the PT.Sinar Jaya Sultra Utama mine site. Therefore, this area was chosen as the location of the research study. The results of this study found that there is a strong correlation between the thickness of the limonite zone and the slope topography, in which the thickness of the limonite zone will increase with decreasing degree of slope topography. This result is used as a basis understanding for using the slope topography effect to maintain a better estimation resources. From the results of the study, it was estimated that the resources of the laterite nickel deposits in the study area are 1,445,827 tons.*

*Key words : Mineral resource estimation, laterite nickel deposits, topographic slope, ordinary kriging, North Konawe.*



# DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACK.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Manfaat .....	3
1.5 Tahapan Penelitian.....	3
1.6 Lokasi Penelitian .....	6

<b>BAB II ESTIMASI SUMBER DAYA NIKEL LATERIT .....</b>	<b>8</b>
2.1 Nikel Laterit.....	8
2.2 Klasifikasi Sumberdaya Mineral.....	13
2.3 Geostatistik .....	17

Estimasi Sumberdaya .....	17
Kode Estimasi <i>Kriging</i> .....	19



2.6 <i>Ordinary kriging</i> .....	21
2.7 Variogram dan Semivariogram.....	23
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>28</b>
3.1 Sumber Data .....	28
3.2 Pengolahan Data.....	32
3.3 Bagan Alir Penelitian.....	46
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>48</b>
4.1 Hubungan Ketebalan Lapisan Laterit dengan Topografi .....	48
4.2 Hubungan Ketebalan Lapisan Laterit dengan Kadar Ni .....	52
4.3 Statistik Lubang Bor .....	56
4.4 Estimasi Sumberdaya dengan Metode <i>Ordinary Krigging</i> .....	87
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>93</b>
5.1 Kesimpulan .....	93
5.2 Saran.....	94
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>95</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
1.1 Peta tunjuk lokasi penelitian .....	6
1.2 Lokasi Penelitian .....	7
2.1 Sebaran Endapan Nikel Laterit Dunia (Brand, 1998). ....	8
2.2 Kenampakan lapangan endapan nikel laterit .....	11
2.3 Pengelompokan Sumberdaya Mineral dan Cadangan Bijih (KCMI, 2017). ....	14
2.4 Komponen Variogram atau Semivariogram. ....	25
3.1 Drillhole Kemiringan Lereng 0 <sup>0</sup> -15 <sup>0</sup> . ....	36
3.2 Drillhole Kemiringan Lereng 16 <sup>0</sup> – 30 <sup>0</sup> . ....	37
3.3 Drillhole Kemiringan Lereng 31 <sup>0</sup> – 54 <sup>0</sup> . ....	37
3.4 String Top Limonit tipe kemiringan lereng 0 <sup>0</sup> -15 <sup>0</sup> .....	39
3.5 String top saprolit Tipe Kemiringan Lereng 0 <sup>0</sup> -15 <sup>0</sup> . ....	39
3.6 String Bottom Saprolit Tipe Kemiringan Lereng 0 <sup>0</sup> -15 <sup>0</sup> . ....	40
3.7 String Top Limonit tipe kemiringan lereng 16 <sup>0</sup> -30 <sup>0</sup> .....	40
3.8 String Top Saprolit tipe kemiringan lereng 16 <sup>0</sup> -30 <sup>0</sup> . ....	40
3.9 String Bottom Saprolit tipe kemiringan lereng 16 <sup>0</sup> -30 <sup>0</sup> .....	41
3.10 String Top Limonit tipe kemiringan lereng 31 <sup>0</sup> -54 <sup>0</sup> .....	41
3.11 String Top Saprolit tipe kemiringan lereng 31 <sup>0</sup> -55 <sup>0</sup> .....	41
String Bottom Saprolit tipe kemiringan lereng 31 <sup>0</sup> -55 <sup>0</sup> .....	42
TM Solid zona limonit Tipe Kemiringan Lereng 0 <sup>0</sup> -15 <sup>0</sup> . ....	43
TM Solid zona saprolit Tipe Kemiringan Lereng 0 <sup>0</sup> -15 <sup>0</sup> .....	43
	x



3.15 DTM Solid zona limonit Tipe Kemiringan Lereng $16^0-30^0$ .....	43
3.16 DTM Solid zona saprolit Tipe Kemiringan Lereng $16^0-30^0$ .....	44
3.17 Solid zona limonit tipe kemiringan lereng $>31^0$ .....	44
3.18 Solid zona saprolit Tipe Kemiringan Lereng $>31^0$ .....	44
3.19 Blok Model. ....	46
3.20 Bagan Alir Penelitian.....	47
4.1 Peta Pengelompokan Kemiringan Lereng.....	49
4.2 Korelasi Ketebalan zona limonit dengan Tipe Kemiringan Lereng. ....	50
4.3 Korelasi Ketebalan zona saprolit dengan Tipe Kemiringan Lereng.....	51
4.4 Analisis Regresi Linear antara Kadar Maximum Ni (Tipe I).....	52
4.5 Analisis regresi linear kadar maximum ni di setiap titik bor (tipe II).....	53
4.6 Analisis regresi linear kadar maximum ini di setiap titik bor (Tipe III).....	54
4.7 Analisis regresi linear kadar maximum ni pada zona saprolit (Tipe I).....	54
4.8 Analisis regresi linear kadar maximum ni pada zona saprolit (Tipe II).....	55
4.9 Analisis Regresi Linear Kadar Maximum Ni Pada zona saprolit (Tipe III). ....	56
4.10 Histogram zona limonit Kemiringan Lereng $0^0-15^0$ . ....	58
4.11 Histogram zona limonit Kemiringan Lereng $16^0-30^0$ .....	60
4.12 Histogram zona saprolit Tipe Kemiringan Lereng $0^0-15^0$ . ....	63
4.13 Histogram zona saprolit Tipe Kemiringan Lereng $16^0-30^0$ .....	65
Histogram zona saprolit Tipe Kemiringan Lereng $>31^0$ .....	66
ariogram mayor Limonit Kemiringan lereng $0^0-15^0$ .....	68
ariogram Semimayor Limonit Kemiringan Lereng $0^0-15^0$ .....	68



4.17 Variogram Semimayor Limonit Kemiringan Lereng $0^0-15^0$ .....	68
4.18 Variogram Map Mayor Limonit Kemiringan Lereng $0^0-15^0$ .....	70
4.19 Variogram Map Semi Mayor Limonit Kemiringan Lereng $0^0-15^0$ .....	70
4.20 Elipsoid limonit kemiringan.....	71
4.21 Variogram mayor Limonit Kemiringan lereng $16^0-30^0$ .....	71
4.22 Variogram Semi mayor Limonit Kemiringan Lereng $16^0-30^0$ .....	72
4.23 Variogram minor Limonit Kemiringan Lereng $16^0-30^0$ .....	72
4.24 Variogram Map Sumbu Mayor zona Limonit Kemiringan Lereng $16^0-30^0$ .....	73
4.25 Variogram Map Semi Mayor zona limonit Kemiringan Lereng $16^0-30^0$ .....	74
4.26 Elipsoid limonit kemiringan lereng $0^0-15^0$ .....	74
4.27 Variogram Sumbu Mayor Kemiringan Lereng $31^0-55^0$ .....	75
4.28 Variogram Sumbu Semi Mayor Kemiringan Lereng $31^0-55^0$ .....	75
4.29 Variogram Sumbu Minor Kemiringan Lereng $31^0-55^0$ .....	75
4.30 Variogram Map Sumbu Mayor zona Limonit Kemiringan Lereng $31^0-55^0$ .....	76
4.31 Variogram Map Sumbu Mayor zona Limonit Kemiringan Lereng $31^0-55^0$ .....	77
4.32 Elipsoid limonit kemiringan lereng $31^0-55^0$ .....	77
4.33 Variogram Saprolit Sumbu Mayor Kemiringan Lereng $0^0-15^0$ .....	78
4.34 Variogram Saprolit Sumbu Semi Mayor Kemiringan Lereng $0^0-15^0$ .....	78
4.35 Variogram Saprolit Sumbu Minor Kemiringan Lereng $0^0-15^0$ .....	79
Variogram Map Sumbu Mayor saprolit Kemiringan Lereng $0^0-15^0$ .....	80
Variogram Map Sumbu semi Mayor Saprolit Kemiringan Lereng $0^0-15^0$ .....	80
Elipsoid saprolit kemiringan lereng $0^0-15^0$ .....	81



4.39 Variogram Sumbu mayor Saprolit Kemiringan Lereng $16^0-30^0$ .....	81
4.40 Variogram Sumbu Semi mayor Saprolit Kemiringan Lereng $16^0-30^0$ .....	81
4.41 Variogram Sumbu Minor Saprolit Kemiringan Lereng $16^0-30^0$ .....	82
4.42 Variogram Map Saprolit Sumbu Mayor Kemiringan Lereng $16^0-30^0$ .....	83
4.43 Variogram Map Saprolit Sumbu Semi Mayor Kemiringan Lereng $16^0-30^0$ .....	83
4.44 Elipsoid saprolit kemiringan lereng $16^0-30^0$ .....	84
4.45 Variogram Sumbu Mayor Saprolit Kemiringan Lereng $31^0-55^0$ .....	84
4.46 Variogram Sumbu Semi Mayor Saprolit Kemiringan Lereng $31^0-55^0$ .....	85
4.47 Variogram Sumbu Minor Saprolit Kemiringan Lereng $31^0-55^0$ .....	85
4.48 Variogram Map Saprolit Kemiringan Lereng $31^0-55^0$ .....	86
4.49 Variogram Map Sumbu Semi Mayor Saprolit Kemiringan Lereng $31^0-55^0$ .....	87
4.50 Elipsoid saprolit kemiringan lereng $31^0-55^0$ .....	87
4.51 Blok Model Limonit Kemiringan Lereng $0^0-15^0$ .....	88
4.52 Blok Model Limonit Kemiringan Lereng $15^0-30^0$ .....	89
4.53 Blok Model Limonit Kemiringan lereng $>31^0$ .....	89
4.54 Blok Model Saprolit Kemiringan Lereng $0^0-15^0$ .....	90
4.55 Blok Model Saprolit Kemiringan Lereng $16^0-30^0$ .....	90
4.56 Blok Model Saprolit Kemiringan Lereng $31^0-55^0$ .....	91



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
3.1 Contoh data assay .....	30
3.2 Contoh data koordinat.....	30
3.3 Contoh data survey.....	31
3.4 Contoh data geologi.....	32
3.5 Klasifikasi Kemiringan Lereng .....	34
3.6 Format Data Titik Bor .....	35
4.1 Contoh data Drillhole Ni dan Litologi .....	49
4.2 Data Statistik Limonit kemiringan lereng $0^0-15^0$ .....	57
4.3 Data Statistik Limonit kemiringan lereng $0^0-15^0$ .....	59
4.4 Data Statistik Limonit kemiringan lereng $31^0-55^0$ .....	61
4.5 Data Statistik Zona saprolit Kemiringan Lereng $0^0-15^0$ .....	62
4.6 Data Statistik Zona saprolit Kemiringan Lereng $16^0-30^0$ .....	64
4.7 Data Statistik Saprolit Kemiringan Lereng $>31^0$ .....	66
4.8 Hasil Analisis Geostatistik Zona limonit Kemiringan Lereng $0^0-15^0$ .....	69
4.9 Hasil Analisis Geostatistik Limonit Kemiringan Lereng $16^0-30^0$ .....	72
4.10 Hasil Analisis variogram Limonit Kemiringan Lereng $>31^0$ .....	76
4.11 Hasil Analisis Variogram Saprolit Kemiringan Lereng $0^0-15^0$ .....	79
Hasil Analisis Variogram Saprolit Kemiringan Lereng $16^0-30^0$ .....	82
Hasil Analisis Variogram Saprolit Kemiringan Lereng $>31^0$ .....	85
Hasil Estimasi Sumberdaya Metode OK.....	92
	xiv



## DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Halaman</b>
A Peta Tunjuk Lokasi.....	98
B Peta Lokasi Penelitian.....	100
C Peta Kemiringan Lereng Blok E PT Sinar Jaya Sultra Utama.....	102
D Blok Model Zona limonit dan Saprolit Setiap Tipe Kemiringan Lereng.....	104
E Data Bor (Assay, Koordinat, Survey, Geology).....	110



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Endapan nikel berdasarkan proses pembentukannya terdiri dari dua jenis yaitu endapan nikel laterit dan endapan nikel sulfida. Berdasarkan jumlah sumberdayanya, nikel laterit memiliki sumberdaya dan cadangan yang lebih banyak dan merupakan sumber utama penghasil nikel dunia yang terbentuk dari hasil pelapukan batuan beku ultrabasa. Berdasarkan jumlah produksinya nikel laterit memproduksi nikel yang lebih sedikit dibandingkan dengan nikel sulfida. Indonesia menjadi salah satu negara yang memiliki cadangan nikel terbesar.

Salah satu daerah yang memiliki cadangan nikel laterit terbesar di Indonesia adalah Provinsi Sulawesi Tenggara. Berdasarkan kondisi geologi serta iklimnya, daerah Sulawesi tenggara termasuk daerah yang beriklim tropis dan memiliki banyak singkapan batuan beku ultrabasa, sehingga menjadikan daerah ini sangat berpotensi sebagai penghasil nikel laterit terbesar di Indonesia.

Ada berbagai faktor yang mempengaruhi proses pembentukan nikel laterit. Meskipun telah dipahami bahwa nikel laterit terbentuk dari proses pelapukan yang intens dari batuan beku ultrabasa akan tetapi proses penyebaran nikel laterit dipengaruhi oleh berbagai faktor yang salah satunya yaitu faktor geomorfologi. Faktor kemiringan lereng menjadi salah satu faktor yang berpengaruh terhadap persebaran nikel laterit selain faktor struktur, intensitas pelapukan, keadaan geologi, serta keadaan tektonik.

Estimasi fase endapan nikel laterit dari suatu daerah dapat diestimasi dengan menggunakan berbagai metode antara lain metode IDW (*Inverse Distance Weighting*), metode AOI (*Area of Influence*), serta metode kriging. Estimasi sumberdaya dengan



menggunakan metode kriging terbagi menjadi tiga jenis yaitu metode *simple kriging*, metode *ordinary kriging*, serta metode *universal kriging* (Bohling, 2005; Goovaerts 1998).

Jenis dari metode *kriging* yang dapat digunakan untuk melakukan estimasi sumberdaya nikel laterit adalah metode *ordinary kriging*. Metode ini dapat mengestimasi dapat mengestimasi nilai kadar pada titik tertentu dengan menggunakan data lain di sekitarnya. *Ordinary kriging* dapat digunakan untuk melakukan estimasi pada endapan nikel laterit kemudian dikombinasikan dengan data geomorfologi untuk mengetahui keterkaitan antara persebaran kadar endapan nikel laterit dengan bentuk geomorfologi dari satu daerah.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada skripsi ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh kemiringan lereng terhadap ketebalan dari zona limonit serta zona saprolit pada endapan nikel laterit di daerah penelitian pada setiap tipe kemiringan lereng.
2. Bagaimana hubungan ketebalan zona limonit dan saprolit terhadap sebaran kadar Ni pada setiap tipe kemiringan lereng serta bagaimana model distribusi kadar Ni pada masing-masing zona tersebut.
3. Berapa jumlah tonase Ni pada zona limonit dan zona saprolit apabila dilakukan estimasi dengan metode OK pada setiap tipe kemiringan lereng.

## 1.3 Tujuan



Tujuan dilaksanakannya penelitian tugas akhir ini adalah:

Melakukan analisis terkait pengaruh kemiringan lereng terhadap ketebalan dari zona limonit serta zona saprolit dari nikel laterit di setiap tipe kemiringan lereng.

2. Melakukan analisis terkait penyebaran kadar Ni baik pada zona limonit maupun zona saprolit serta menganalisis model distribusi kadar Ni pada masing-masing zona tersebut.
3. Menghitung jumlah tonase Ni pada zona limonit dan zona saprolit apabila dilakukan estimasi dengan metode OK pada setiap tipe kemiringan lereng.

## 1.4 Manfaat

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah dapat menjadi salah satu rujukan bagi akademisi dan praktisi penambangan endapan nikel laterit terkait estimasi sumberdaya terukur endapan nikel laterit dengan metode OK dengan mempertimbangkan pengaruh kemiringan lereng terhadap sebaran kadar Nikel.

## 1.5 Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan dalam penyusunan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tahap persiapan

Tahap persiapan meliputi studi literatur dan survei lapangan. Studi literatur meliputi tahapan pencarian referensi yang berkaitan dengan penelitian. Literatur yang digunakan sebagai bahan referensi umumnya diperoleh dari internet. Literatur yang diperoleh sebagai bahan pustaka dapat diperoleh dari beberapa sumber antara lain:

- a. Jurnal Internasional

- b. *International Mining Book.*

- c. *International Mining Magazine.*

- d. Instansi terkait.



Sedangkan survei lapangan meliputi seluruh kegiatan yang berkaitan dengan pemilihan lokasi penelitian, kesesuaian antara lokasi penelitian dengan judul penelitian, serta survei geologi daerah penelitian. Rincian tahapan pelaksanaan survei lapangan meliputi:

- a. Survei geologi lapangan meliputi penentuan keadaan geologi dari suatu daerah serta informasi-informasi lain yang mendukung penelitian yang dilaksanakan.
- b. Langkah selanjutnya, berdasarkan pertimbangan keadaan geologi dari daerah penelitian dilakukan pengamatan terkait kesesuaian antara penelitian yang dilakukan dengan keadaan lapangan.
- c. Penentuan lokasi penelitian dilakukan setelah melakukan survei geologi serta telah dilakukan pengamatan terkait kesesuaian antara penelitian yang dilakukan dengan lokasi penelitian.

## 2. Taha pengambilan data

Tujuan dilakukannya pengambilan data adalah sebagai langkah awal dalam analisis data. Pengambilan data dilakukan dengan mengambil data-data yang relevan dengan penelitian yang dilakukan. Jenis-jenis data yang diambil dalam tahapan pengolahan data antara lain:

### a. Data Topografi

Data topografi digunakan untuk memberikan informasi kondisi geomorfologi dari daerah penelitian. Data topografi yang digunakan diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan *total station*.

### b. Data Assay

Data *assay* memuat data kadar dari setiap titik bor kemudian dianalisis untuk mengetahui jenis dari lapisan di setiap kedalaman titik bor tersebut.



Analisis kadar dan jenis lapisan pada setiap titik bor dilakukan setiap kedalaman satu meter.

c. Data *Koordinat*

Data *koordinat* digunakan untuk memberikan data koordinat serta elevasi dari setiap titik bor.

d. Data Litologi

Data litologi digunakan untuk memberikan informasi mengenai jenis perlapisan di setiap kedalaman pada masing-masing titik bor. Analisis mengenai jenis perlapisan ini dilakukan pada setiap kedalaman satu meter pada masing-masing titik bor.

e. Data *Survey*

Data *survey* digunakan untuk memberikan informasi mengenai dip dan azimuth dari masing-masing titik bor.

3. Tahap pengolahan data

Tahapan pengolahan data dilakukan terhadap data topografi dan titik bor yang memuat data geologi, data *assay*, data *survey*, dan data *koordinat*. Pengolahan data ini dilakukan dengan menggunakan beberapa perangkat lunak pengolah citra satelit dan informasi geografis yaitu ArcGis serta *surpac 6.5.1*.

4. Tahap analisis data

Analisis data dilakukan dengan dua 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 skripsi

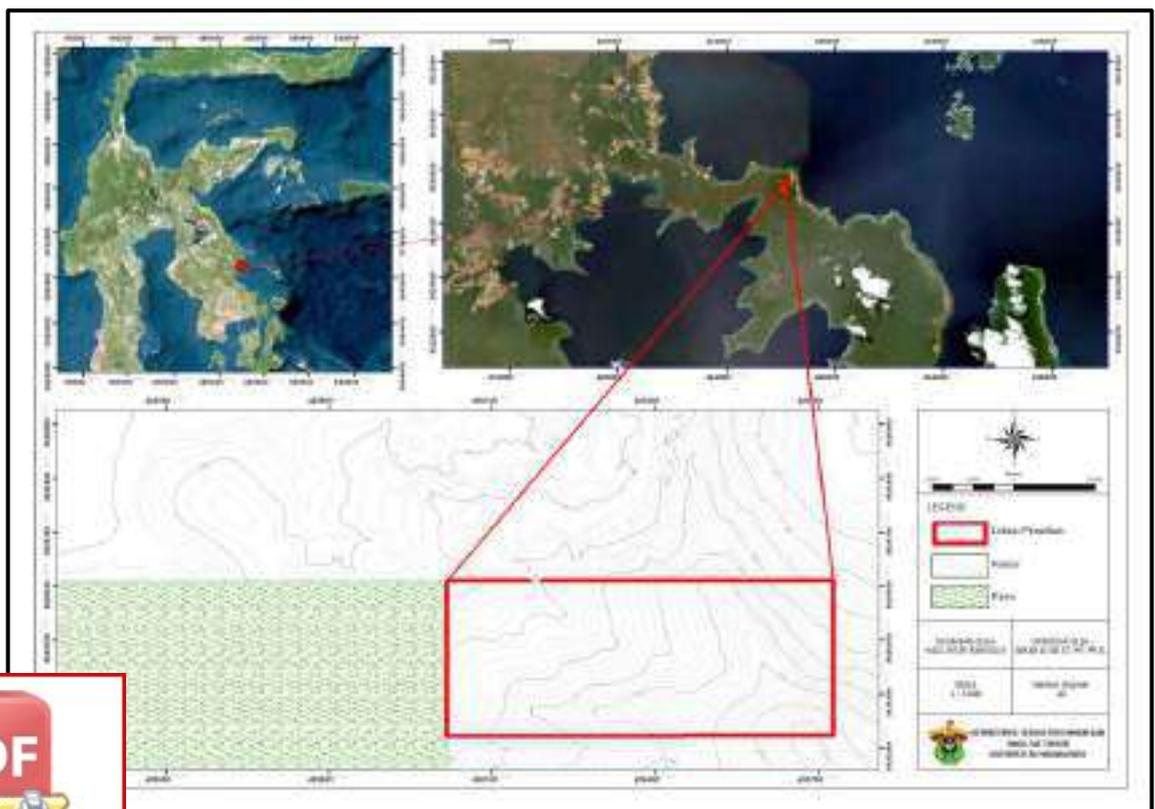
Hasil dari penelitian berupa hubungan antara pengolahan data yang telah dilakukan serta permasalahan yang diteliti kemudian dituliskan dalam bentuk tugas akhir atau skripsi.



## 1.6 Lokasi Penelitian

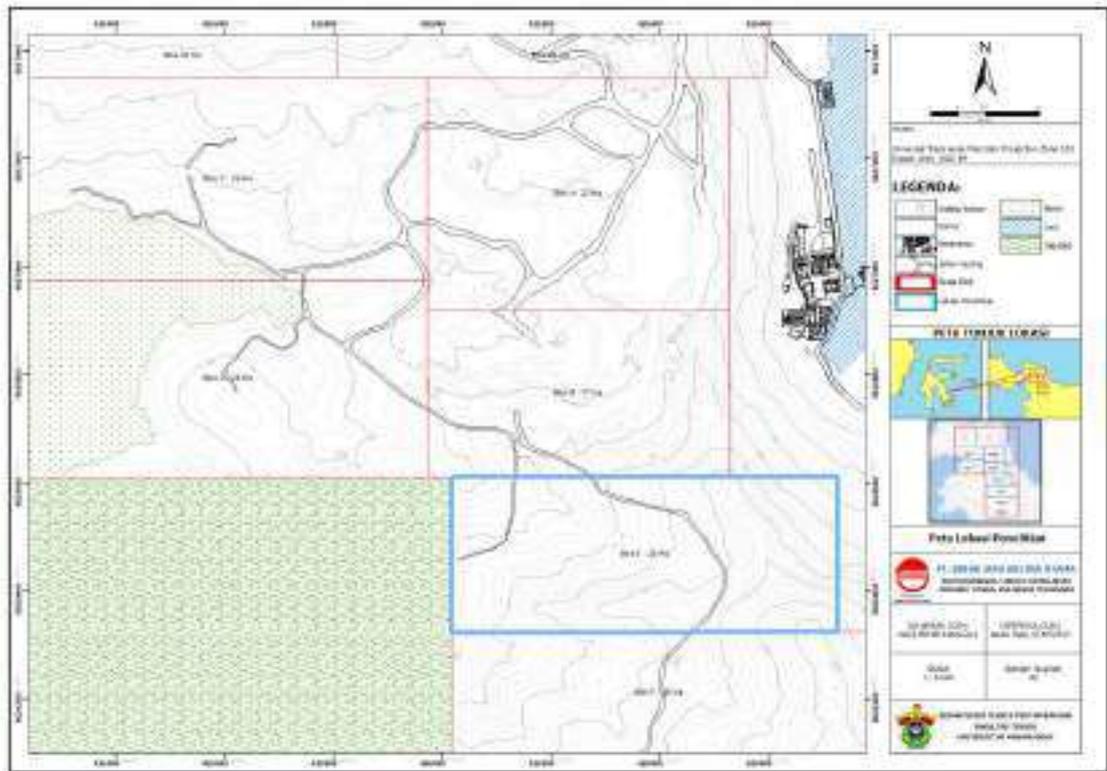
PT. Sinar Jaya Sultra Utama (SJSU) merupakan salah satu perusahaan pertambangan nikel di Kabupaten Konawe Utara yang menggunakan sistem penambangan *open pit mining* (sistem penambangan terbuka) dalam proses penambangannya. PT. Sinar Jaya Sultra Utama memiliki IUP (Izin Usaha Pertambangan) seluas +301 Ha yang dibagi menjadi delapan blok penambangan.

Secara administratif daerah penelitian berada di lokasi penambangan PT. Sinar Jaya Sultra Utama, Desa Waturambaha, Kecamatan Lasolo Kepulauan, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara ( Gambar 1.1). Luas wilayah perusahaan lokasi penelitian seluas 301 Ha. PT sinar Jaya Sultra Utama *site* Waturambaha memiliki beberapa *pit* penambangan yaitu Blok A, Blok B, Blok C, Blok D, Blok E, Blok F, Blok G, dan Blok H (Gambar 1.2).



1.1 Peta tunjuk lokasi penelitian





Gambar 1.2 Lokasi Penelitian

Lokasi PT Sinar Jaya Sultra Utama *site* Waturambaha dapat dijangkau dengan menggunakan pesawat dari Kota Makassar menuju Kota Kendari dengan waktu perjalanan selama 1 jam penerbangan. Perjalanan dilanjutkan dengan menggunakan mobil dari Kota Kendari menuju ke arah utara menuju ke Langgikima dengan perjalanan selama 5 jam kemudian dilanjut dengan perjalanan menuju *site* Waturambaha selama 1 jam.

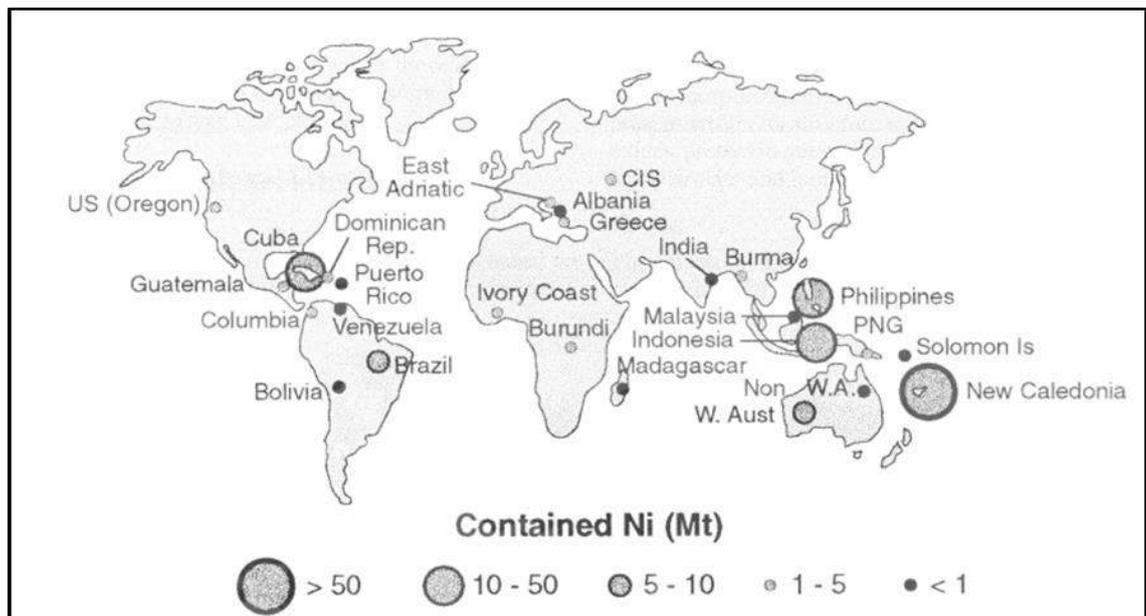


## BAB II

### ESTIMASI SUMBER DAYA NIKEL LATERIT

#### 2.1 Nikel Laterit

Endapan nikel Laterit adalah produk residu yang berasal dari pelapukan kimia batuan beku yang kaya akan olivin dan turunan metamorfnya yang memiliki kandungan Ni awal primer pada kisaran 0,2 - 0,4%. Karakteristik Ni laterit, termasuk kadar, tonase dan mineralogi, dikendalikan oleh interaksi faktor iklim dan geologis, seperti sejarah geomorfologi, drainase, struktur, dan litologi, dan merupakan efek gabungan dari faktor-faktor individual ini yang, dalam sistem yang dinamis, memungkinkan Ni untuk berkonsentrasi dalam regolit (Brand, 1998).



Gambar 2.1 Sebaran Endapan Nikel Laterit Dunia (Brand, 1998).

Secara dominan, tetapi tidak eksklusif, terletak di sabuk tropis dan subtropis

yang mewakili lebih dari 70% sumberdaya Ni daratan, namun saat ini menyumbang

hanya sekitar 30% dari produksi Ni global tahunan. Operasi laterit nikel umumnya



membutuhkan penambangan terbuka dengan tonase tinggi dan kemajuan metalurgi baru-baru ini akan memungkinkan eksploitasi sumber daya ini secara ekonomi.

### 2.1.1 Karakteristik Nikel Laterit

Klasifikasi nikel laterit dikelompokkan menjadi beberapa jenis berdasarkan fitur seperti perubahan batuan induk, iklim, drainase, sejarah geomorfologi, dan komposisi mineral penyusunnya (Butt 1975, Golightly 1981, Alcock 1988). Ada tiga tipe utama dari endapan nikel laterit antara lain (Brand, 1998):

1. Deposit hidrosilikat: endapan silikat Ni, didominasi oleh silikat Mg-Ni terhidrasi (mis. gamierite), umumnya terjadi jauh di dalam saprolit.
2. Deposit silikat lempung: endapan silikat Ni, didominasi oleh lempung smektit (mis. nontronit), umumnya terjadi pada saprolit atas atau pedolit.
3. Deposit oksida: endapan oksida, didominasi oleh Fe oxyhydroxides (mis. goethite), membentuk lapisan pada batas saprolit pedolit.

Endapan silikat Ni, didominasi oleh tipe A, merupakan 80% dari sumberdaya laterit Ni global; kebanyakan endapan Ni laterit mengandung bijih silikat dan oksida dalam proporsi yang berbeda-beda. Oksida mangan, yang diperkaya dengan Co dan Ni, kemungkinan terbentuk selama fase akhir pelapukan, terdapat pada setiap jenis deposit, tetapi hanya sebagian kecil dari total Ni.

Klasifikasi nikel laterit berdasarkan batuan induknya tersusun atas mineral-mineral yang mengandung mineral feromagnesium (olivin, piroksin, dan amfibol) dalam jumlah yang besar yang berasosiasi dengan struktur geologi. Pada umumnya nikel laterit terbentuk dari pelapukan batuan ultrabasa yang merupakan pembawa unsur nikel. Salah satu jenis batuan ultrabasa pembawa unsur nikel antara lain *peridotite*. Batuan-batuan

pembawa unsur nikel adalah sebagai berikut:

*Dunite*, yang mengandung olivin lebih dari 90% dan piroksen sekitar 5%.

*Lherzolite*, yang mengandung olivin 85% dan piroksen 15%.



3. *Serpentinite*, merupakan hasil perubahan dari batuan peridotite oleh proses serpentinisasi akibat hidrothermal.

#### 2.1.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pembentukan Nikel Laterit

Pembentukan dan penyebaran endapan nikel laterit dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut yaitu batuan induk, iklim, intensitas pelapukan, dan topografi.

##### a) Batuan Induk

Litologi Nikel Laterit hampir secara keseluruhan terbentuk pada batuan ultramafic yang kaya akan *olivine* dan diimbangi dengan proses serpentinisasi, yang mengandung 0,2 – 0,7% Ni. Beberapa deposit kecil di Yunani terbentuk oleh pemanasan ulang sedimen yang mengandung laterit yang berasal dari peridotit yang terserpentinisasi (Valeton dkk, 1987). Jenis endapan sebagian dipengaruhi oleh litologi batuan ultramafik. Peridotit dapat menimbulkan oksida dan kumpulan hidrat Mg silikat atau silikat tanah liat, sedangkan dunit terutama membentuk endapan oksida, banyak di antaranya memiliki silika bebas berlimpah yang dapat melarutkan bijih. Tingkat serpentinisasi peridotit memengaruhi sifat dan kelimpahan silikat Mg hidro yang terbentuk dalam profil yang dikembangkan di lingkungan kering (Golightly 1979; Pelletier 1996). Pada batuan yang tidak terserpentinisasi, endapan cenderung kaya akan oksida, dengan mineralisasi silikat kecil (mis. Sorowako Barat, Indonesia). Dalam batuan dengan serpentinisasi yang lemah hingga sedang, zona silikat lebih tebal dan sebagian besar terdiri dari "garnierit" yang terbentuk secara neo, seperti urat, fraktur dan lapisan, dan smektit Fe-Mg terbentuk dari olivin. Namun, Ni juga dipengaruhi oleh lizardite primer yang diubah, di mana Ni telah ditukar dengan Mg di situs oktahedral (Manceau dan Calas, 1985). Dalam

yang sangat terserpentinisasi, lizardit yang diubah oleh Ni kaya adalah mineral  
na. Profil endapan nikel lateri dapat dilihat pada gambar 2.2.





Gambar 2.2 Kenampakan lapangan endapan nikel laterit

b) Iklim

Sebagian besar endapan Ni laterit saat ini terdapat di daerah tropis lembap (lihat gambar 2.2). Terdapat banyak deposit (misalnya Soroako Provinsi Sulawesi Selatan, Teluk Weda Provinsi Maluku Utara) dan beberapa di Afrika Barat (Sipolou, Conakry) dan Amerika Selatan (Onça, Puma, Vermelho, Cerro Matoso) memiliki iklim hutan hujan yang ditandai dengan hujan > 1800 mm per tahun dan musim kemarau kurang dari 2 bulan. Namun, sebagian besar endapan, termasuk yang ada di Kaledonia Baru, Filipina, timur laut Australia, Karibia, Burundi, dan banyak lainnya di Brasil, terletak di sabana basah yang lembap secara musiman (curah hujan musim panas 900–1800 mm dan musim kering musim dingin 2–5 bulan ). Thorne et al. (2012) menghitung bahwa Ni laterit berkembang di mana curah hujan melebihi 1000 mm / tahun dan rata-rata suhu bulanan berkisar antara 22–31 °C (musim panas) dan 15–27° C (musim dingin).

Ada juga banyak endapan di daerah beriklim hangat, semi-kering sampai kering

di Amerika Tengah dan barat daya dan di Mediterania yang lebih lembap hingga daerah sedang di AS (Oregon dan California), Balkan, Turki, dan Ural. Namun, masing-masing daerah ini dianggap memiliki iklim yang lebih hangat dan lembap (Scotese 2000;



Thorne et al. 2012) ketika endapan terbentuk, meskipun pada lintang tinggi (mis. Australia barat daya). Modifikasi endapan di bawah iklim kemudian umumnya kecil, seperti presipitasi magnesit dan silika dalam kondisi semi-kering hingga kering di Australia.

Tidak ada hubungan yang jelas antara iklim dan jenis bijih saat ini, baik itu kadar atau ukuran sebaran. Meskipun saat ini silikat hidro Mg sangat melimpah di daerah tropis dan silikat tanah liat di daerah semi-kering, distribusi ini sebagian besar disebabkan oleh keadaan tektonik, struktural dan geomorfologi, yang mempengaruhi status drainase dan kerentanan terhadap erosi.

c) Intensitas Pelapukan

Karena sebagian besar endapan Ni laterit, dan bentang alam tempat mereka terbentuk, terbentuk dan berevolusi dalam periode yang lama di bawah rezim pelapukan yang berbeda, kita hanya dapat memperkirakan periode pelapukan yang paling intens, dibanding menyebutkan waktu pembentukan tertentu. pelapukan episodik dianggap telah terjadi di Australia utara dan di perisai Amerika Selatan bagian tengah dan Afrika Barat, tetapi di sana kondisi tropis lembap umumnya berlanjut sepanjang Kenozoikum (Scotese 2000).

d) Topografi

Nikel laterit terjadi di daerah dengan regolith yang dalam dan sangat lapuk. Ini menyiratkan pembentukan di medan dengan stabilitas tektonik yang memadai dan relief yang rendah sehingga tingkat pelapukan melebihi erosi. Keadaan topografi setempat sangat mempengaruhi sirkulasi air beserta reagen-reagen lain. Untuk daerah yang landai, maka air akan bergerak perlahan-lahan sehingga akan mempunyai kesempatan

melakukan penetrasi lebih dalam melalui rekahan-rekahan atau pori-pori batuan. Endapan umumnya terdapat pada daerah-daerah yang landai sampai dengan sedang, hal ini menerangkan bahwa ketebalan pelapukan mengikuti bentuk



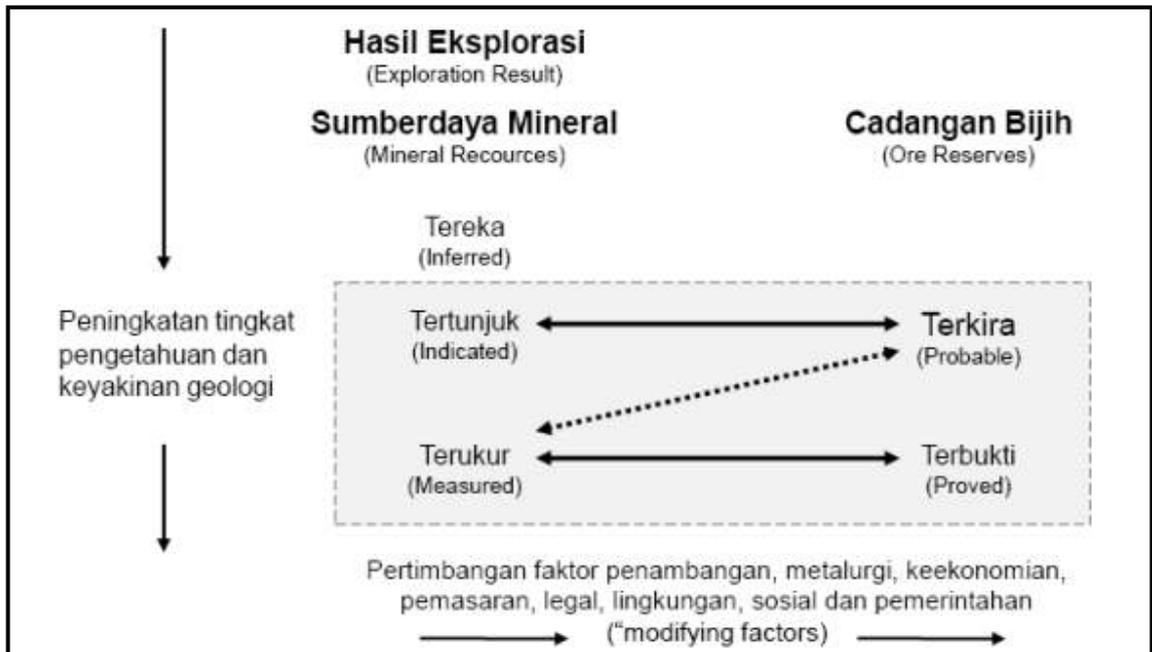
topografi. Pada daerah yang curam, secara teoritis, jumlah air yang meluncur (*run off*) lebih banyak daripada air yang meresap, sehingga dapat menyebabkan pelapukan kurang intensif.

## 2.2 Klasifikasi Sumberdaya Mineral

Sumberdaya mineral adalah suatu konsentrasi atau ke terjadinya dari material yang memiliki nilai ekonomi pada atau di atas kerak bumi, dengan bentuk, kualitas dan kuantitas tertentu yang memiliki prospek yang beralasan untuk pada akhirnya dapat diekstraksi secara ekonomis. Sumberdaya mineral bukan merupakan inventori dari semua mineralisasi yang telah dibor atau diambil contohnya, terlepas dari kadar minimumnya (*cut-off grade*), kemungkinan dimensi penambangannya, lokasi atau kemenerusannya. Sumberdaya mineral merupakan inventori mineralisasi yang realistis, di mana di bawah kondisi keekonomian dan keteknikan yang dapat diasumsikan dan dibenarkan, baik secara menyeluruh ataupun sebagian, dapat diekstraksi secara ekonomis (Issaks, 1993)

Lokasi, kuantitas, kadar, karakteristik geologi dan kemenerusan dari Sumberdaya Mineral harus diketahui, diestimasi atau diinterpretasikan berdasar bukti-bukti dan pengetahuan geologi yang spesifik, termasuk pengambilan contohnya. Sumberdaya Mineral dikelompokkan lagi berdasar tingkat keyakinan geologinya, ke dalam kategori Tereka, Tertunjuk dan Terukur.





Gambar 2.3 Pengelompokan Sumberdaya Mineral dan Cadangan Bijih (KCFI, 2017).

### 2.2.1 Sumberdaya Mineral Tereka

Sumberdaya Mineral Tereka merupakan bagian dari sumberdaya mineral di mana kuantitas dan kualitas kadarnya diestimasi berdasarkan bukti-bukti geologi dan pengambilan conto yang terbatas. Bukti geologi tersebut memadai untuk menunjukkan kejadiannya tetapi tidak memverifikasi kemenerusan kualitas atau kadar dan kemenerusan geologinya.

Sumberdaya Mineral Tereka memiliki tingkat keyakinan lebih rendah dalam penerapannya dibandingkan dengan Sumberdaya Mineral Tertunjuk dan tidak dapat dikonversi ke Cadangan Mineral. Sangat beralasan untuk mengharapkan bahwa sebagian besar Sumberdaya Mineral Tereka dapat ditingkatkan menjadi Sumberdaya Mineral Tertunjuk sejalan dengan berlanjutnya eksplorasi.

Kategori Tereka dimaksudkan untuk mencakup situasi di mana konsentrasi dan an mineral dapat diidentifikasi, dan pengukuran serta percontaan terbatas telah kan, dimana data yang diperoleh belum cukup untuk melakukan interpretasi usan geologi dan/atau kadarnya secara meyakinkan. Pada umumnya, beralasan



untuk mengharapkan bahwa sebagian besar Sumberdaya Mineral Tereka dapat ditingkatkan menjadi Sumberdaya Tertunjuk sejalan dengan berlanjutnya eksplorasi. Tetapi, karena ketidakpastian dari Sumberdaya Mineral Tereka, peningkatan kategori Sumberdaya tidak selalu akan terjadi.

Tingkat keyakinan dalam estimasi Sumberdaya Mineral Tereka biasanya tidak mencukupi, sehingga parameter keteknikan dan keekonomian tidak dapat digunakan untuk perencanaan rinci. Oleh karenanya, tidak ada hubungan langsung dari Sumberdaya Tereka dengan salah satu kategori pada Cadangan Mineral. Kehati-hatian harus diterapkan jika kategori ini akan dipertimbangkan dalam studi keteknikan dan keekonomian.

#### 2.2.2 Sumberdaya Mineral Tertunjuk

Sumberdaya Mineral Tertunjuk merupakan bagian dari Sumberdaya Mineral dimana kuantitas, kadar atau kualitas, kerapatan, bentuk, dan karakteristik fisiknya dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan yang cukup untuk memungkinkan penerapan Faktor-faktor Pengubah secara memadai untuk mendukung perencanaan tambang dan evaluasi kelayakan ekonomi cebakan tersebut. Bukti geologi didapatkan dari eksplorasi, pengambilan conto dan pengujian yang cukup detail dan andal, dan memadai untuk mengasumsikan kemenerusan geologi dan kadar atau kualitas diantara titik-titik pengamatan.

Sumberdaya Mineral Tertunjuk memiliki tingkat keyakinan yang lebih rendah penerapannya dibandingkan dengan Sumberdaya Mineral Terukur dan hanya dapat dikonversi ke Cadangan Mineral Terkira, tetapi memiliki tingkat keyakinan yang lebih tinggi penerapannya dibandingkan dengan Sumberdaya Mineral Tereka.

Mineralisasi dapat diklasifikasikan sebagian Sumberdaya Mineral Tertunjuk ketika hiah, kualitas, jumlah dan distribusi datanya memungkinkan interpretasi yang



meyakinkan atas kerangka (model) geologi dan untuk mengasumsikan kemenerusan mineralisasinya.

Tingkat keyakinan dalam estimasi harus cukup untuk menerapkan parameter keteknikan dan keekonomian, dan memungkinkan dilakukannya suatu evaluasi kelayakan ekonomi.

### 2.2.3 Sumberdaya Mineral Terukur

Sumberdaya mineral terukur merupakan bagian dari sumberdaya mineral di mana kuantitas, kadar atau kualitas, kerapatan, bentuk, karakteristik fisiknya dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan yang memadai untuk memungkinkan penerapan faktor-faktor pengubah untuk mendukung perencanaan tambang detail dan evaluasi akhir dari kelayakan ekonomi cebakan tersebut. Bukti geologi didapatkan dari eksplorasi, pengambilan conto dan pengujian yang detail dan andal, dan memadai untuk memastikan kemenerusan geologi dan kadar atau kualitasnya di antara titik-titik pengamatan.

Sumberdaya Mineral Terukur memiliki tingkat keyakinan yang lebih tinggi penerapannya dibandingkan dengan sumberdaya Mineral Tertunjuk ataupun sumberdaya Mineral Tereka. Sumberdaya Mineral Terukur dapat dikonversi ke Cadangan Mineral Terbukti atau Cadangan Mineral Terkira.

Tingkat keyakinan dalam estimasi harus memadai untuk memungkinkan penerapan parameter keteknikan dan keekonomian, dan memungkinkan dilakukannya suatu evaluasi kelayakan ekonomi yang memiliki tingkat kepastian lebih tinggi dibandingkan dengan evaluasi yang berdasarkan atas sumberdaya Mineral Tertunjuk.



## 2.3 Geostatistik

Geostatistik adalah metode statistik yang digunakan untuk melihat hubungan antar variabel yang diukur pada titik tertentu dengan variabel yang sama diukur pada titik dengan jarak tertentu dari titik pertama (data spasial) dan digunakan untuk mengestimasi parameter di tempat yang tidak diketahui datanya (Oliver dan Carol, 2005).

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)

## 2.4 Estimasi Sumberdaya

Estimasi sumberdaya adalah estimasi potensi dari endapan mineral bijih yang terletak di permukaan bumi untuk mengetahui apakah endapan tersebut layak untuk dilanjutkan ke proses penambangan selanjutnya yaitu perhitungan cadangan. Ada beberapa jenis dari metode estimasi yang dirancang untuk tujuan yang berbeda-beda (*Dominy et al*, 2002).

Bagaimanapun juga, tujuan yang paling penting yaitu untuk memprediksi kadar dan tonase dari material yang akan ditambang. Ada dua situasi penting yang harus diperhatikan dalam melakukan estimasi:

1. Estimasi sementara yaitu estimasi dengan data bor yang memiliki spasi bor yang lebar. Estimasi dapat dijadikan sebagai acuan untuk menentukan spasi titik bor untuk estimasi yang lebih detail.

Estimasi akhir yaitu estimasi yang bertujuan untuk menentukan material *ore* dan material *waste*.



Tujuan dari estimasi sementara yaitu untuk memperoleh prediksi tonase dan kadar dari *ore* dengan produksi yang besar atau pada periode tertentu. Faktor penting lainnya adalah akan diperoleh informasi tambahan di masa yang akan datang. Sedangkan tujuan dari estimasi akhir adalah untuk melakukan estimasi sesuai dengan nilai yang diharapkan, nilai sebenarnya akan sama dengan nilai estimasi yang diharapkan.

Secara umum metode estimasi yang digunakan untuk endapan nikel laterit ada beberapa jenis metode. Metode yang digunakan pada umumnya antara lain metode IDW (*Inverse Distance Weighting*), metode poligon / metode AOI (*Area of Influence*) dan metode Kriging.

#### 2.4.1 *Inverse Distance Weighting*

IDW adalah salah satu teknik interpolasi permukaan (*surface interpolation*) dengan prinsip titik inputnya dapat berupa titik pusat plot yang tersebar secara acak maupun tersebar merata. Metode bobot *inverse distance* atau jarak tertimbang terbalik (IDW) memperkirakan nilai-nilai atribut pada titik-titik yang tidak disampel menggunakan kombinasi linier dari nilai-nilai sampel tersebut dan ditimbang oleh fungsi terbalik dari jarak antar titik (Hayati 2012).

#### 2.4.2 *Kriging*

Interpolasi *kriging* dapat digolongkan dalam interpolasi stokastik. Interpolasi *stochastic* menawarkan penilaian kesalahan dengan nilai prediksi dengan mengasumsikan kesalahan acak. Metode *kriging* merupakan estimasi *stochastic* mirip dengan IDW yang menggunakan kombinasi linear dari bobot untuk memperkirakan nilai di antara sampel data. Metode ini dikembangkan oleh D.L. Krige untuk memperkirakan

bahan tambang. Asumsi dari model ini adalah jarak dan orientasi antara sampel menunjukkan korelasi spasial.



Metode kriging mempunyai keunggulan dan kelemahan menurut Lagueche (2006), keunggulannya yaitu kemampuan untuk menguantifikasi variansi dari nilai yang diestimasi sehingga tingkat presisi dari hasil estimasi dapat diketahui. Metode *kriging* tetap dapat digunakan meskipun tidak ditemukan korelasi spasial antar data. Kelemahan *kriging* yaitu mengasumsikan data menyebar normal sementara kebanyakan data lapangan tidak memenuhi kondisi tersebut. Selain itu, semi *variogram* yang dihitung untuk suatu himpunan data tidak berlaku untuk himpunan data lainnya. Dengan demikian estimasi semi *variogram* akan sulit bila titik sampel yang digunakan tidak mencukupi.

## 2.5 Metode Estimasi Kriging

Pada tahun 1950, peneliti pertambangan bernama Daniel Gerhardus Krige, merancang metode interpolasi untuk menentukan struktur bijih emas. Dia menginterpolasi suatu kandungan biji emas berdasarkan data sampel. Dari sini *kriging* dijadikan sebuah nama metode interpolasi atas penemuannya tersebut.

G. Matheron memperkenalkan metode *kriging* dalam menonjolkan metode khusus dalam *moving average* terbobot (*weighted moving average*) yang meminimalkan variansi dari hasil estimasi. *Kriging* menghasilkan *best linear unbiased estimator* (BLUE) dari variabel yang ingin diketahui nilainya. Hasil prediksi *kriging* lebih akurat daripada metode regresi. Sebab, metode ini mampu membaca *error* yang berkorelasi, sehingga dapat diketahui nilai kedekatannya (Kleijnen and Van Beers, 2004).

*Estimator kriging*  $\hat{Z}(s)$  dapat dirumuskan sebagai berikut (Bohling, 2005):

$$\hat{Z}(s)-m(s)=\sum_{a=1}^n \lambda_a (Z(s_i)-m(s_i))$$



lokasi untuk estimasi dan 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

$n$  : banyaknya data sampel yang digunakan untuk estimasi.

$Z(s)$  diperlakukan sebagai bidang acak dengan suatu komponen *trend*,  $m(s)$  dan komponen sisa atau error  $e(s) = (Z)(s)-m(s)$ . Estimasi *kriging* yang bersifat sisa pada  $s$  sebagai penjumlahan berbobot dari sisa data di sekitarnya. Nilai  $\lambda_i$  diperoleh dari kovariansi atau semivariogram, dengan diperlukan komponen karakteristik sisa (Bohling, 2005).

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

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

Tiga pokok dalam estimasi *kriging* yang bergantung pada model dengan sifat acak yaitu *simple kriging*, *ordinary kriging*, dan *universal kriging* (Bohling, 2005; Goovaerts, 1998).

### 1. *Simple Kriging*

*Simple Kriging* merupakan metode *kriging* dengan asumsi bahwa rata-rata (*mean*) dari populasi telah diketahui dan bernilai konstan. Pengolahan dari metode *simple kriging* adalah dengan cara data spasial yang akan diduga dipartisi menjadi beberapa bagian.

### 2. *Ordinary kriging*

*Ordinary kriging* merupakan metode yang diasumsikan rata-rata (*mean*) dari populasi tidak diketahui, dan pada data spasial tersebut tidak mengandung



*trend*. Selain tidak mengandung *trend*, data yang digunakan juga tidak mengandung pencilan.

### 3. *Universal Kriging*

Universal kriging merupakan metode *kriging* yang dapat diaplikasikan pada data spasial yang mengandung *trend* atau data yang tidak stasioner.

## 2.6 *Ordinary kriging*

*Ordinary kriging* dikenal sebagai teknik kriging linear karena menggunakan kombinasi linier terbobot dari data yang tersedia untuk proses estimasi (Isaaks and Srivastava, 1989). Metode *ordinary kriging* merupakan metode *Kriging* yang menghasilkan *estimator* yang bersifat BLUE. Hal tersebut berarti mempunyai variansi terkecil dibanding estimator lain. Data yang digunakan pada metode *ordinary kriging* merupakan data spasial dengan rata-rata populasi tidak diketahui dan diasumsi bersifat stasioner.

Bobot *ordinary kriging* memenuhi sifat tak bias dengan  $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$  dengan  $n$  adalah jumlah sampel yang diketahui. Parameter tambahan  $m$  merupakan *Lagrange multiplier* yang digunakan untuk meminimalkan galat *kriging*. Nilai bobot *ordinary kriging* dapat diperoleh melalui persamaan berikut:

$$\begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y(s_1, s_1) & Y(s_1, s_2) & \dots & Y(s_1, s_n) & 1 \\ Y(s_2, s_1) & Y(s_2, s_2) & \dots & Y(s_2, s_n) & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ Y(s_n, s_1) & Y(s_n, s_2) & \dots & Y(s_n, s_n) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} Y(s_1, s_0) \\ Y(s_2, s_0) \\ \vdots \\ Y(s_n, s_0) \\ 1 \end{pmatrix}$$

Dimana,

: vektor pembobot ke  $s_i$

: semivariogram antara titik  $(s_{1..n}, s_{1..n})$  yang terdapat pada jarak sebesar

$h$



*Ordinary kriging* berhubungan dengan prediksi spasial dengan 2 asumsi (Cressie, 1990), yaitu:

1. Asumsi Model

$$Z(s) = \mu + e(s), \quad s \in R \text{ dan } \mu \text{ tidak diketahui}$$

2. Asumsi Prediksi

$$\hat{Z}(s) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s) \text{ dengan } \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

Dimana,

$Z(s)$  : peubah acak bebas

$\mu$  : ekspektasi peubah acak  $Z(s)$

$e(s)$  : nilai *error* pada  $Z(s)$

$R$  : bilangan *real*

$N$  : banyaknya data sampel yang digunakan untuk estimasi

Karena koefisien dari hasil penjumlahan prediksi linier adalah 1 dan memiliki syarat tak bias maka  $E\hat{Z}(s) = \mu = E Z(s) = Z(s)$ , untuk setiap  $\mu \in R$  dan karena  $Z(s)$  merupakan suatu konstanta maka  $E Z(s) = Z(s)$  terdapat *estimator error*  $e(s)$ , pada setiap lokasi merupakan perbedaan antara nilai estimasi  $\hat{Z}(s)$  dengan nilai sebenarnya  $Z(s)$  yang dinyatakan sebagai berikut:

$$e(s) = \hat{Z}(s) - Z(s)$$

Dimana,

$e(s)$  : *estimator error*

$\hat{Z}(s)$  : nilai estimasi

$Z(s)$  : nilai sebenarnya

dengan  $E e(s) = 0$ . Selisih  $\hat{Z}(s) - Z(s)$  disebut dengan galat estimasi atau bias.

$\lambda_i, i=1,2,\dots,n$  ditentukan berdasarkan kriteria:

tak bias:  $[\hat{Z}(s) - Z(s)] = 0$



2. Variansi:  $\text{var}[\hat{Z}(s) - Z(s)]$  minimum

Dengan menggunakan persamaan (10) dapat dibuktikan bahwa  $\hat{Z}(s)$  merupakan *estimator* tak bias yaitu:

$$E e(s) = E \hat{Z}(s) - E Z(s)$$

Dengan  $E e(s) = 0$ , maka diperoleh:

$$E \hat{Z}(s) = Z(s)$$

## 2.7 Variogram dan Semivariogram

Variogram adalah grafik variansi terhadap jarak (*lag*) sedangkan semivariogram adalah setengah kuantitas dari semiariogram (Cressie, 1993). Variogram menentukan ukuran dari variansi yang digunakan untuk menentukan jarak dimana nilai-nilai data pengamatan menjadi tidak ada kolerasinya. Estimasi variogram memiliki peran yang menentukan, misalnya dalam penentuan nilai-nilai optimal dari bobot setiap sampel. Cara yang paling alami untuk membandingkan dua nilai,  $Z(x)$  dan  $Z(x+h)$  pada dua poin  $x$  dan  $x+h$  pada nilai yang mutlak seharusnya mempertimbangkan nilai rata-rata  $[Z(x) - Z(x+h)]$  (Cressie, 1993).

### 2.7.1 Komponen Variogram atau Semivariogram

Komponen-komponen yang terdapat pada variogram dan semivariogram antara lain sebagai berikut:

#### 1. *Range*

*Range* adalah jarak dimana variogram adalah sebuah dataran tinggi atau sebuah masa stabil (Isaaks dan Srivastava, 1989). Jarak dimana variogram mencapai nilai sill. Pendapat lain mengemukakan bahwa *range* adalah jarak antara lokasi-lokasi dimana pengamatan-pengamatannya terlihat independen, yakni ragamnya tidak mengalami suatu kenaikan (Dorsel dan Breche, 1997). Dalam grafik



variogram *range* dinyatakan dengan lambang "a" yaitu jarak pada sumbu horizontal mulai dari titik nol sampai titik proyeksi perubahan variogram dari miring ke mendatar. Pada jarak *range* ini Variabel dipengaruhi oleh posisi. Dalam batas *range*, antara nilai  $Z(s)$  dengan nilai lain akan terdapat korelasi. Besarnya korelasi dari satu nilai ke nilai lain akan berkurang sesuai dengan bertambah jaraknya. Dalam praktik, *range* akan mempengaruhi korelasi spasialnya.

## 2. *Sill*

*Sill* adalah masa stabil suatu variogram yang mencapai rangenya disebut dengan *sill* (Isaaks dan Srivastava, 1989). *Sill* mendeskripsikan dimana variogramnya menjadi suatu wilayah yang datar, yakni ragamnya juga tidak mengalami suatu kenaikan (Dorsel dan Breche, 1997).

## 3. *Nugget effect*

Ketidakterusan pada pusat variogram terhadap garis vertikal yang melompat dari nilai 0 pada pusat ke nilai variogram pada pemisahan jarak terkecil disebut dengan *nugget effect*. Rasio *nugget effect* terhadap *sill* seringkali disebut sebagai *nugget effect relative* dan biasanya dinyatakan dalam persen (Isaaks and Srivastava, 1989). *Nugget effect* dapat berupa kesalahan sistematis atau biasanya kesalahan yang dibuat oleh manusia, kesalahan membaca alat, kesalahan sampling, dll disebut dengan *nugget effect*.

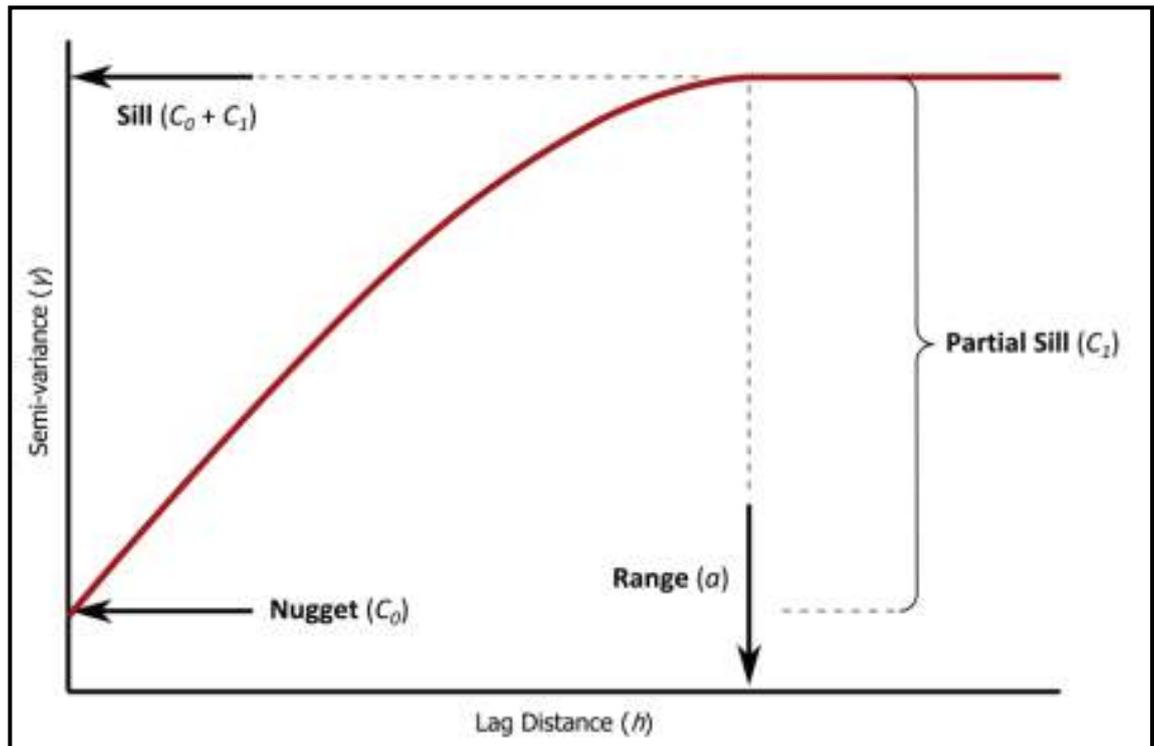
Adapun klasifikasi perbandingan *nugget ratio* (Dominy et al., 2001), yaitu:

- a. *Low nugget ratio* : <25%
- b. *Medium nugget ratio* : 25% - 50%
- c. *High nugget ratio* : 50% - 75%
- Extreme nugget ratio* : >75%

umus *nugget ratio* (Dominy et al., 2003), adalah sebagai berikut:



$$\text{Nugget ratio} = \frac{C_0}{C+C_0} \times 100\%$$



Gambar 2.4 Komponen Variogram atau Semivariogram.

### 2.7.2 Experimental Variogram

*Experimental* variogram adalah suatu nilai dugaan dari variogram berdasarkan pada penarikan sampel. Dalam metode umum memplot *eksperimental* variogram, sumbu-sumbu jarak yang memisahkan antara dua titik dibagi ke dalam selang-selang berurutan, serupa dengan histogram. Sebagai alat analisis eksploitasi, *experimental* variogram mempunyai *drawback* yang grafiknya bergantung pada pemilihan selang-selang dan dipengaruhi oleh metode rata-ratanya. Yang termasuk dalam pengertian *experimental* variogram adalah:

1. *Scale*

*Experimental* variogram adalah sebuah grafik yang biasanya lebih digunakan dalam aplikasi geostatistik untuk menyelidiki ketakbebasannya. *Experimental* ini berisi informasi tentang fluktuasi variabel *scale*.



## 2. Dekat dengan Pusat

Perlakuan variogram pada jarak-jarak yang kecil menentukan apakah fungsi spasial terlihat kontinu dan mulus. Sedangkan kelakuan *experimental* variogram pada pusat (pada jarak-jarak pendek) menyatakan derajat fungsi kemulusannya.

## 3. *Large Scale Behaviour*

Kelakuan variogram pada jarak-jarak yang sebanding dengan ukuran daerahnya menentukan apakah fungsi tersebut merupakan fungsi *stationary*.

Sebagai suatu fungsi, *experimental* variogram akan menstabilkan suatu nilai di sekitarnya, yakni *sill*. Sebagai fungsi *stationary*, *sill* yang diperoleh akan mendeskripsikan panjang scalenya. (Kitanidis, 1997).

### 2.7.3 Model Teoritis Semivariogram

Nilai yang diperoleh dari semivariogram teoritis akan digunakan untuk membandingkan nilai antara semivariogram eksperimental dengan teoritis. Selanjutnya dipilih model mana yang memiliki nilai paling kecil, yang nantinya akan digunakan untuk melakukan pendugaan data spasial. Berikut adalah beberapa model semivariogram teoritis yang digunakan sebagai pembanding (Micromine, 2014):

#### 1. Model *Spherical*

Model *Spherical* adalah model yang paling sering digunakan dalam variogram. Bentuk persamaan bakunya adalah sebagai berikut. Model *Spherical (Sph)* adalah bentuk linear dengan kecepatan perubahan *slope* untuk mencapai *sill*. Model *spherical* digunakan dalam estimasi kualitas kadar.

$$y(h) = \begin{cases} C_0 + C \left[ \left( \frac{3h}{2a} \right) - 0,5 \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right] & h \leq a \\ C_0 + C & \text{dan untuk } h > a \end{cases}$$

engan,

: jarak lokasi sampel



$C_0+C$  : *sill*, yaitu nilai semivariogram untuk jarak pada saat besarnya konstan  
a : *range*, yaitu jarak pada saat nilai semivariogram mencapai *sill*.

## 2. Model *exponensial*

Model transisi lain yang biasa digunakan adalah model eksponensial yang memberikan *sill asimtotik*. Bentuk persamaannya adalah sebagai berikut. Model ini memiliki lengkungan lebih besar dibandingkan dengan model *spherical* dan menunjukkan perubahan *slope* secara bertahap hingga mencapai *sill*. Model *exponential* digunakan dalam estimasi kualitas kadar.

$$\gamma(h)=C_0+C\left[1-\exp\left(-\frac{3h}{a}\right)\right]$$

## 3. Model *Gaussian* (Normal)

Model *Gaussian* adalah model transisi yang sering kali digunakan untuk memodelkan fenomena kontinu yang ekstrim dan juga memberikan *sill asimtotik*. Bentuk persamaannya adalah sebagai berikut.

$$\gamma(h)=C_0+C\left[1-\exp\left(\frac{-3h^2}{a^2}\right)\right]$$

## 4. Model *linear*

Model *linear* merupakan model yang tidak mencapai *sill*. General Linear digunakan untuk elevasi topografi dan ketebalan seam batubara.

