

Analisis Metode Estimasi *Ordinary Kriging* (OK) dengan *Direct Sequential Simulation*: Studi Kasus Komoditas Nikel

Wafiqah Aziah Syahputri*, Adree Octova, Mulya Gusman, Heri Prabowo

Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

* wafiqahaziahsyahputri@gmail.com

Abstrak. Pulau Gebe di Maluku Utara merupakan salah satu wilayah prospektif dengan potensi endapan nikel laterit yang tinggi. Penelitian ini menganalisis perbandingan metode estimasi *Ordinary Kriging* (OK) dan *Direct Sequential Simulation* (DSS) dalam memodelkan sumber daya nikel laterit di Pulau Gebe, Maluku Utara. Data ketebalan zona limonit, saprolit, dan badrock dari 267 titik bor dianalisis menggunakan software SGeMS untuk menghasilkan model blok 3D. Hasil menunjukkan bahwa OK cenderung menghasilkan model yang lebih smoothing, sementara DSS lebih merepresentasikan variabilitas lokal dengan nilai ekstrem. Volume estimasi untuk ketiga zona (limonit, saprolit, badrock) sama antara OK dan DSS, yaitu masing-masing 4.363.200 bcm, 4.050.000 bcm, dan 4.365.000 bcm. Namun, analisis cross validation menunjukkan DSS lebih akurat dengan nilai korelasi linear lebih tinggi (0,74–0,81) dibandingkan OK (0,30–0,67). Simpulannya, DSS lebih efektif dalam mempertahankan karakteristik data asli dan mengurangi ketidakpastian estimasi. Penelitian ini merekomendasikan DSS untuk estimasi sumber daya nikel laterit yang lebih andal.

Kata Kunci: nikel laterit, *ordinary kriging*, *direct sequential simulation*, geostatistik, estimasi sumberdaya

Abstract. Gebe Island in North Maluku is one of the prospective areas with high potential for laterite nickel deposits. This study analyzes the comparison between the *Ordinary Kriging* (OK) and *Direct Sequential Simulation* (DSS) estimation methods in modeling laterite nickel resources on Gebe Island, North Maluku. Data on the thickness of the limonite, saprolite, and bedrock zones from 267 drill holes were analyzed using SGeMS software to produce a 3D block model. The results show that OK tends to produce smoother models, while DSS better represents local variability, including extreme values. The estimated volumes for the three zones (limonite, saprolite, and bedrock) are the same for both OK and DSS, namely 4,363,200 bcm, 4,050,000 bcm, and 4,365,000 bcm, respectively. However, cross-validation analysis indicates that DSS is more accurate, with higher linear correlation values (0.74–0.81) compared to OK (0.30–0.67). In conclusion, DSS is more effective in preserving the original data characteristics and reducing estimation uncertainty. This study recommends DSS for more reliable laterite nickel resource estimation.

Keywords: nickel laterite, *ordinary kriging*, *direct sequential simulation*, geostatistics, resource estimation

Tanggal Diterima: 10/06/2025; Tanggal Direvisi: 23/09/2025; Tanggal Disetujui: 01/12/2025; Tanggal Dipublikasi: 01/07/2025

1. Pendahuluan

Maluku Utara merupakan salah satu provinsi dengan cadangan bijih nikel terbesar di Indonesia. Data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menunjukkan bahwa Maluku Utara memiliki sumber daya bijih nikel sebesar 5,72 miliar ton dan cadangan bijih mencapai 1,87 miliar ton (Syaharani, M. 2024). Nikel laterit di daerah ini terbentuk dari pelapukan intensif batuan ultramafik, terutama dunit, yang menghasilkan profil laterit terdiri dari zona limonit, saprolit, dan batuan dasar (*bedrock*) (Abidin, R. R., Susanto, V., & Wicaksono, H. M. H. 2022).

Estimasi sumber daya mineral merupakan langkah penting dalam eksplorasi dan pengembangan tambang. Metode geostatistik, seperti *Ordinary Kriging* (OK) dan *Direct Sequential Simulation* (DSS), telah berkembang menjadi pendekatan yang kompleks dan penting untuk analisis data spasial. OK digunakan untuk estimasi nilai variabel pada lokasi yang tidak terukur berdasarkan data terdekat, sementara DSS menghasilkan beberapa realisasi kemungkinan distribusi variabel untuk memahami ketidakpastian dan variabilitas data (Krige, D. G. 1951).

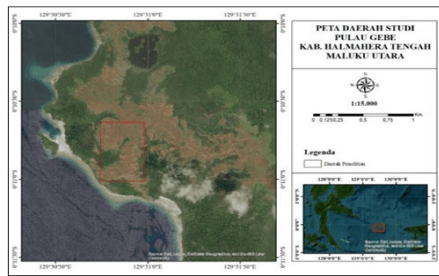
Di Indonesia, regulasi seperti Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara serta Kepmen ESDM No. 177/K/30/MEM/2014 mengharuskan penggunaan metode estimasi yang diakui secara internasional, termasuk geostatistik (ICMM) 2019). Hal ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi dan transparansi dalam pelaporan sumber daya mineral. Penelitian ini berfokus pada evaluasi akurasi metode OK dan DSS dalam estimasi sumber daya nikel laterit di Pulau Gebe, Halmahera Tengah. Dengan membandingkan kedua metode, diharapkan dapat memberikan rekomendasi metode yang lebih efektif untuk eksplorasi dan pengelolaan tambang nikel.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini berada di wilayah Desa Smingit, Kepulauan Gebe, Maluku Utara., memiliki topografi yang bervariasi, mulai dari dataran rendah hingga perbukitan. Keberadaan formasi geologi yang mendukung, seperti batuan ultramafik, menjadikan

Umera sebagai lokasi yang strategis untuk eksplorasi nikel laterit.



Gambar 1. 1 Peta Lokasi Penelitian

2.2. Kajian Teoritis

2.2.1. Pembentukan Nikel Laterit

Nikel laterit terbentuk dari pelapukan batuan ultramafik dalam iklim tropis-subtropis. Proses laterisasi melibatkan pencucian mineral yang tidak resisten, meninggalkan konsentrasi nikel, besi, dan *kobalt*. Nikel laterit terdiri dari 4 zona yaitu, lapisan tanah penutup dengan kandungan besi tinggi, kadar nikel rendah. Limonit, mineral gutit, hematit, dan limonit dengan kadar nikel sedang. Saprolit batuan lapuk dengan struktur asli masih terlihat, kadar nikel ekonomis. Batuan dasar (*bedrock*) batuan segar dengan kadar nikel minimal.

2.2.2. Klasifikasi Sumber Daya Mineral

Berdasarkan tingkat keyakinan geologi (KCMi, 2017):

1. Sumber Daya Tereka (*Inferred*): Estimasi berdasarkan data terbatas.
2. Sumber Daya Tertunjuk (*Indicated*): Data lebih detail, jarak titik pengamatan ≤ 100 meter.
3. Sumber Daya Terukur (*Measured*): Data sangat detail, jarak titik ≤ 50 meter.

2.2.3. Statistik Univarian Spasial

Statistik univarian untuk menganalisis distribusi data (*mean*, *median*, *varians*, *skewness*, *kurtosis*).

Statistik Spasial mempertimbangkan korelasi spasial menggunakan variogram untuk menggambarkan hubungan antar titik data.

1. Variogram Eksperimental: Menghitung variansi berdasarkan jarak antar titik.
2. Variogram Teoritis: Model *spherical*, eksponensial, atau *Gaussian* untuk *fitting* data.
3. Parameter Variogram: *Nugget effect* (variasi acak), *sill* (variansi maksimal), dan *range* (jarak korelasi spasial).

2.2.4. Metode Geostatistik (*Ordinary Kriging*)

Metode *Ordinary Kriging* (OK) merupakan metode estimasi suatu peubah acak pada suatu titik (lokasi) tertentu dengan mengamati data yang sejenis dilokasi lain dengan mean data diasumsikan konstan tetapi tidak diketahui nilainya (Yulianti, 2015).

Metode estimasi ini menggunakan variogram yang merepresentasikan perbedaan spasial dan nilai diantara semua pasangan sampel data. Variogram juga menunjukkan bobot yang digunakan dalam interpolasi.

Nilai estimasi variabel blok dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot Z_i \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

Z^* = Nilai taksiran ketebalan

Z_i = Nilai ketebalan yang dibobot

γ_i = Nilai bobot

2.2.5. Direct Sequential Simulation (DSS)

Direct Sequential Simulation adalah metode simulasi yang digunakan untuk menghasilkan realisasi spasial dari variabel acak. DSS memungkinkan pengguna untuk menghasilkan beberapa realisasi dari model geostatistik yang sama, yang mencerminkan ketidakpastian yang ada dalam data.

Setelah nilai estimasi diperoleh menggunakan *Ordinary Kriging*, nilai yang akan digunakan dalam simulasi dihasilkan dengan sampling dari distribusi normal:

$$y = G(y^*(x), \sigma_k(x), p) \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

Y = adalah nilai simulasi dalam domain Gaussian.

$y^*(x)$ = adalah estimasi dari *Ordinary Kriging*.

$\sigma_k(x)$ = adalah standar deviasi *kriging*.

P = angka acak dari distribusi seragam $U(0,1)$.

G = fungsi *inverse*

2.2.6. Penaksiran Sumberdaya

Volume per-zonasi dilakukan berdasarkan jumlah blok dari hasil estimasi. Untuk melakukan perhitungan volume zonasi menggunakan persamaan berikut ini:

$$\text{Volume} = \text{Volume satu blok} \times \text{jumlah blok} \dots \dots \dots (3)$$

2.2.7. Cross Validation dan Uncertainty

Cross validasi dilakukan untuk melihat keakuratan hasil estimasi yang telah dilakukan dengan cara membandingkan nilai hasil estimasi pada suatu lokasi sampel dengan nilai data yang sebenarnya pada lokasi tersebut. Cross Validation yang mempunyai nilai r mendekati 1 menunjukkan akurasi tinggi (Asy'ari.M.A, Hidayatullah.R, Zulfadli.A, 2013).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) - (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

X_i = nilai ke- i dari variabel X (misalnya hasil estimasi)

Y_i = nilai ke- i dari variabel Y (misalnya data real)

$\bar{X}$ = rata-rata X

$\bar{Y}$ = rata-rata Y

n = jumlah data

3. Metode Penelitian

4.1. Jenis Penelitian

Penelitian yang dilakukan oleh penulis termasuk ke dalam kategori penelitian komparatif. Penelitian Komparatif bertujuan untuk membandingkan dua atau

lebih metode estimasi untuk melihat perbedaan dalam hasil estimasi, keakuratan, dan efisiensi.

Serta penelitian ini juga termasuk ke dalam penelitian terapan (*Applied Research*) yang bertujuan untuk memecahkan masalah praktis dan menerapkan teori dalam situasi nyata.

4.2. Objek Penelitian

Penelitian ini berfokus pada analisis data geospasial yang berkaitan dengan konsentrasi nikel untuk perhitungan volume zonasi menggunakan perbandingan dua metode yang berbeda yaitu metode OK dengan DSS.

4.3. Instrumen Penelitian

Mengenai instrument, instrument penelitian yang digunakan penulis adalah sebagai berikut:

1. Laptop
2. *Software SGeMS*
3. *Microsoft Excel*
4. *Software Arcgis*

4.4. Teknik Pengumpulan Data

1. Studi Literatur
2. Teknik Pengambilan Data
Data yang digunakan merupakan data sekunder yang terdiri dari data *survey*, *collar*, *assay* dan litologi.
3. Perumusan Masalah

4.5. Teknik Pengolahan dan Analisis Data

- a. Penyusunan database dalam bentuk format *text document (*.txt)*.
- b. Import data *txt*.
- c. Analisis statistik univarian
Setelah proses import database, selanjutnya dilakukan analisis statistik univariat.

Adapun parameter-parameter yang akan didapatkan adalah nilai mean, median, modus, varians, standar deviasi, kurtosis, skewness, range data, nilai minimum, nilai maksimum dan kuartil.

- d. Analisis Statistik Spasial

Tahap selanjutnya setelah pembuatan variogram eksperimental adalah tahap fitting variogram. Proses fitting dilakukan terhadap variogram eksperimental dalam empat arah horizontal yaitu azimuth 00, 450, 900 dan 1350.

Apabila nantinya nilai parameter yang didapatkan sama ke semua arah, maka akan ditentukan bahwa variogramnya adalah Omni- directional. Hasil dari kegiatan fitting variogram ini adalah akan didapatkan jenis model dari variogram, nilai *sill*, *nugget*, dan *range*.

- e. Estimasi *Ordinary Kriging*

Estimasi atau penaksiran nilai ketebalan dari lapisan limonit, saprolite dan *bedrock* dilakukan dalam sebuah model blok yang dibuat sesuai dengan data yang ada.

Untuk melakukan estimasi terhadap nilai ketebalan menggunakan metode *ordinary kriging* ini, digunakan parameter-parameter yang didapatkan dari tahap *fitting* variogram. Untuk luas pencarian data dinyatakan dengan parameter $R_{\max} = 40$ meter, $R_{\text{med}} = 20$ meter dan $R_{\min} = 10$ meter dan parameter sudut bernilai 0° .

- f. Simulasi DSS

Simulasi dengan metode DSS ini langkah-langkahnya sama seperti metode OK namun nilai data atau variabel yang digunakan dalam kolom merupakan hasil dari estimasi yaitu nilai kriging dan *kriging variance*.

- g. Koreksi Model Hasil Estimasi OK dan DSS

- h. Estimasi Ketebalan Lapisan Per-Zona

Dari model blok yang didapatkan setelah tahap koreksi model, selanjutnya dilakukan tahap estimasi ketebalan dari masing-masing zona. Pada tahap ini dilakukan perhitungan volume pada hasil estimasi dan simulasi.

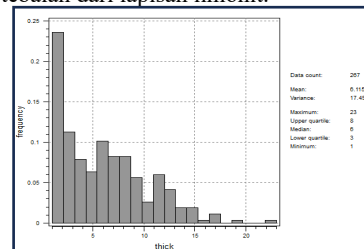
- i. Analisis Hasil

Pada tahapan ini dilakukan analisis terhadap hasil dari pengolahan data yang telah dilakukan. Adapun hasil dari pengolahan data yang dilakukan yaitu parameter-parameter statistik *univariat*, parameter-parameter variogram model, model blok dari masing-masing lapisan, nilai estimasi dan simulasi yang nantinya akan dilakukan *cross validasi* untuk mendapatkan nilai *regresi linear*. Hasil analisis ini nantinya bertujuan untuk mendapatkan kesimpulan akhir dari hasil penelitian yang dilakukan.

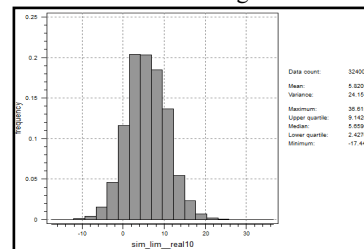
4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Lapisan Limonit

Untuk analisis ketebalan dan perhitungan volume lapisan limonit data yang digunakan berjumlah 267 titik bor. Titik ini nantinya di analisis untuk melihat hasil estimasi dan simulasi ketebalan dari lapisan limonit.



Gambar 3.1 Histogram estimasi

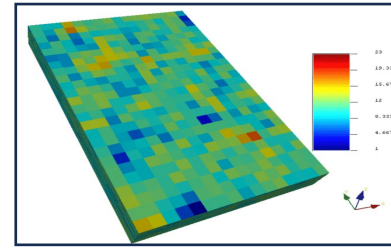
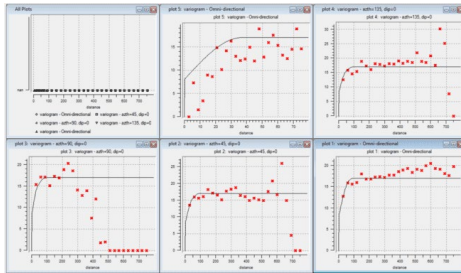


Gambar 3.2 Histogram simulasi

Berikut ini merupakan parameter yang digunakan untuk variogram eksperimental pada lapisan limonit, saprolite dan *bedrock*

Tabel 3.1 Parameter variogram eksperimental

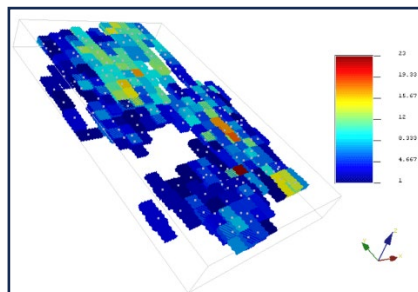
Azimuth	Dip	Angle Tolerance	Bandwith
0	0	90	700
45	0	22.5	400
90	0	22.5	400
135	0	22.5	400
0	90	90	6

**Gambar 3.5** Blok Model DSS Ketebalan Lapisan Limonita. Variogram model dan *fitting* variogram**Gambar 3.3** *Fitting* variogram

b. Parameter variogram model

Setelah dilakukannya *fitting* variogram akan didapatkan parameter seperti pada tabel berikut.**Tabel 3.2** Parameter variogram model

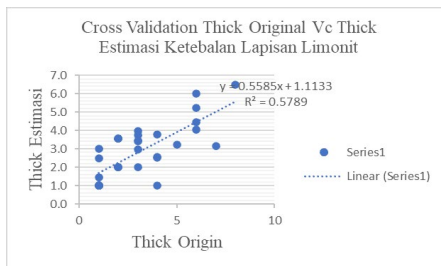
Azimuth	Parameter	Nilai
Omni-directional (Dip 0)	Nugget variance (Co)	8
	Sill (C)	9
	Range (a)	95
	Total sill (Co+C)	17
Azimuth 45 (Dip 0)	Nugget variance (Co)	8
	Sill (C)	9
	Range (a)	95
	Total sill (Co+C)	17
Azimuth 90 (Dip 0)	Nugget variance (Co)	8
	Sill (C)	9
	Range (a)	95
	Total sill (Co+C)	17
Azimuth 135 (Dip 0)	Nugget variance (Co)	8
	Sill (C)	9
	Range (a)	95
	Total sill (Co+C)	17
Vertikal (Dip 90)	Nugget variance (Co)	9
	Sill (C)	38
	Range (a)	38
	Total sill (Co+C)	17

c. Hasil *ordinary kriging* dan *direct sequential simulation***Gambar 3.4** Blok Model *Kriging* Ketebalan Lapisan Limonit

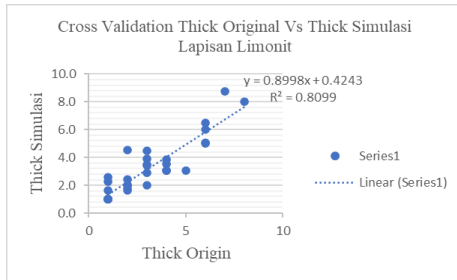
d. Korelasi ketebalan original dengan ketebalan estimasi dan simulasi.

Tabel 3.3 Nilai Ketebalan Original dan Hasil Estimasi dan Simulasi Lapisan Limonit

Ketebalan Original	Ketebalan Estimasi	Ketebalan Simulasi
6	6.0	5.0
6	5.2	6.5
2	3.6	2.0
2	2.0	2.0
3	3.0	2.9
8	6.5	8.0
6	4.0	6.0
2	2.0	1.6
4	1.0	3.5
2	2.0	1.8
1	1.4	1.0
5	3.2	3.1
1	1.0	1.0
4	3.8	3.9
1	1.0	1.0
1	1.0	1.0
1	1.0	1.0
6	4.4	5.0
1	1.0	1.6
3	3.5	3.5
1	1.0	1.0
2	3.6	2.5
3	3.7	3.9
1	1.0	1.0
3	2.0	2.0
3	4.0	4.5
4	2.5	3.1
3	3.4	3.4
7	3.2	8.8
1	3.0	2.3
2	3.6	4.5
4	2.6	3.1
1	2.5	2.6

e. Nilai *regresi linear* estimasi dan simulasi

Gambar 3.6 Grafik korelasi Lapisan Limonit



Gambar 3.7 Grafik korelasi Lapisan Limonit

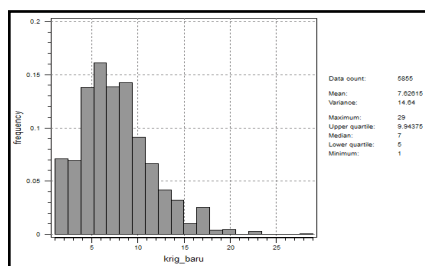
f. Perhitungan volume limonit.

Tabel 3.4 Volume lapisan limonit

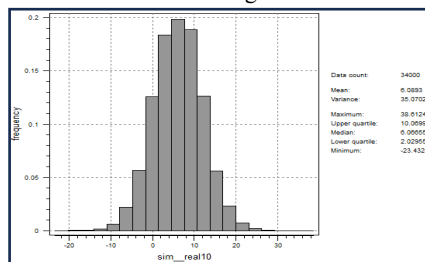
Zona	Volume Estimasi (Bcm)	Volume Simulasi (Bcm)
Limonit	4.363.200	4.363.200

4.2. Lapisan Saprolit

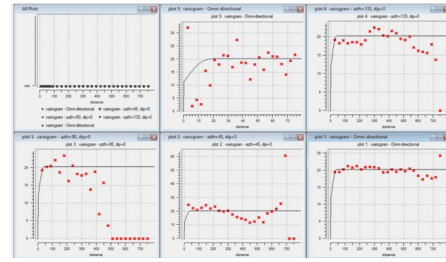
Untuk analisis ketebalan dan perhitungan volume lapisan saprolit data yang digunakan berjumlah 305 titik bor.



Gambar 3.8 Histogram estimasi



Gambar 3.9 Histogram simulasi

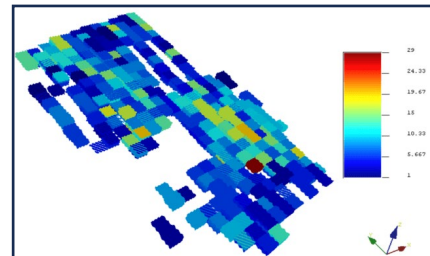
a. Variogram model dan *fitting* variogram

Gambar 3.10 Fitting variogram

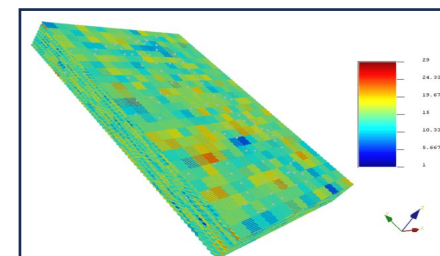
b. Parameter variogram model

Tabel 3.5 Parameter variogram model

Azimuth	Parameter	Nilai
Omni-directional (Dip 0)	Nugget variance (Co)	11.1
	Sill (C)	9.1681
	Range (a)	45
	Total sill (Co+C)	20.2681
Azimuth 45 (Dip 0)	Nugget variance (Co)	11.1
	Sill (C)	9.1681
	Range (a)	45
	Total sill (Co+C)	20.2681
Azimuth 90 (Dip 0)	Nugget variance (Co)	11.1
	Sill (C)	9.1681
	Range (a)	45
	Total sill (Co+C)	20.2681
Azimuth 135 (Dip 0)	Nugget variance (Co)	11.1
	Sill (C)	9.1681
	Range (a)	45
	Total sill (Co+C)	20.2681
Vertikal (Dip 90)	Nugget variance (Co)	11.1
	Sill (C)	9.1681
	Range (a)	22
	Total sill (Co+C)	20.2681

c. Hasil *ordinary kriging* dan *direct sequential simulation*
Hasil dari estimasi dan simulasi pada lapisan saprolit dapat dilihat pada gambar sebagai berikut ini.

Gambar 3.11 Blok Model Kriging Ketebalan Lapisan Saprolit



Gambar 3.12 Blok Model DSS Ketebalan Lapisan Saprolit

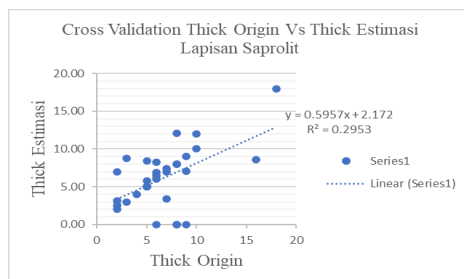
- d. Korelasi ketebalan original dengan ketebalan estimasi dan simulasi.

Tabel 3.6 Nilai Ketebalan Original dan Hasil Estimasi dan Simulasi Lapisan Saprolit

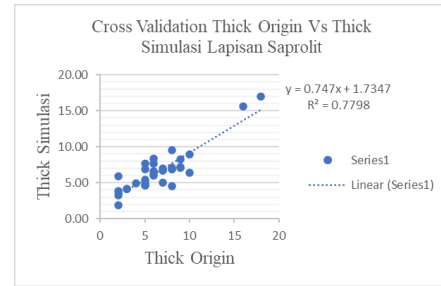
Ketebalan Original	Ketebalan Estimasi	Ketebalan Simulasi
5	5.00	4.64
2	3.15	1.89
5	5.00	5.37
3	8.77	4.13
7	7.40	7.02
5	5.00	4.61
16	8.55	15.63
2	2.00	3.87
10	12.00	8.95
3	3.00	4.19
8	0.00	9.57
5	5.00	6.89
6	6.93	6.00
6	6.50	6.33
6	8.28	8.39
7	7.00	6.67
5	5.76	5.00
8	8.00	6.92
2	7.00	3.30
8	0.00	7.10
8	8.00	4.50
6	6.00	7.69
9	7.04	8.26
10	10.00	6.38
9	0.00	7.10
6	0.00	6.58
18	18.00	17.02
4	4.00	4.96
8	12.06	6.85
7	3.38	5.00
2	2.5069	5.92
5	8.40116	7.69
9	9	7.17

- e. Nilai *regresi linear* estimasi dan simulasi

Kedua variabel tersebut kemudian dibuat dalam bentuk scatter diagram menggunakan *software Microsoft excel*. Hasil penghitungan nilai korelasi pada data ketebalan lapisan saprolit dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 3.13 Grafik Korelasi Nilai Ketebalan Lapisan Saprolit



Gambar 3.14 Grafik Korelasi Nilai Ketebalan Lapisan Saprolit

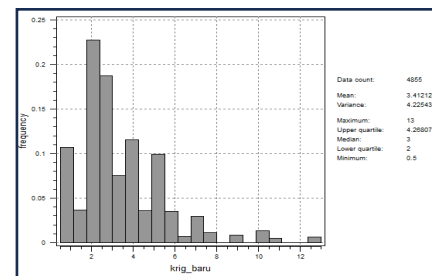
- f. Perhitungan volume saprolite

Tabel 3.7 Volume lapisan saprolit

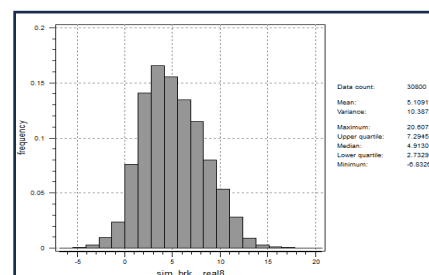
Zona	Volume Estimasi (Bcm)	Volume Simulasi (Bcm)
Saprolit	4.050.000	4.050.000

4.3. Lapisan Bedrock

Untuk analisis ketebalan dan perhitungan volume lapisan *bedrock* data yang digunakan berjumlah 206 titik bor. Data ini nantinya akan dilakukan analisis untuk estimasi dengan menggunakan *ordinary kriging* dan hasil dari estimasi ini nantinya akan dilakukan simulasi dengan metode DSS.

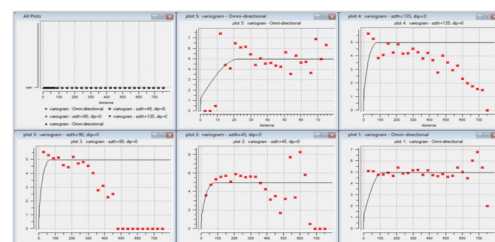


Gambar 3.15 Histogram estimasi



Gambar 3.16 Histogram simulasi

- a. Variogram model dan fitting variogram



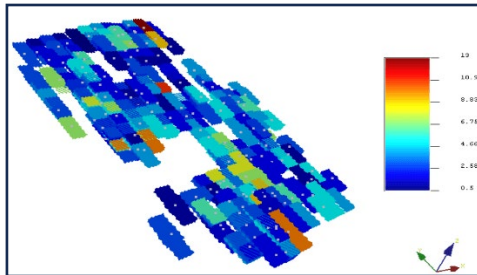
Gambar 3.17 Fitting variogram

b. Parameter variogram model

Tabel 3.8 Parameter variogram model

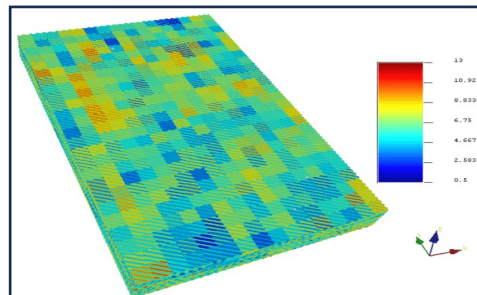
Azimuth	Parameter	Nilai
Omni-directional (Dip 0)	Nugget variance (Co)	1.2
	Sill (C)	3.7613
	Range (a)	117
	Total sill (Co+C)	4.9613
Azimuth 45 (Dip 0)	Nugget variance (Co)	1.2
	Sill (C)	3.7613
	Range (a)	97
	Total sill (Co+C)	4.9613
Azimuth 90 (Dip 0)	Nugget variance (Co)	1.2
	Sill (C)	3.7613
	Range (a)	97
	Total sill (Co+C)	4.9613
Azimuth 135 (Dip 0)	Nugget variance (Co)	1.2
	Sill (C)	3.7613
	Range (a)	97
	Total sill (Co+C)	4.9613
Vertikal (Dip 90)	Nugget variance (Co)	1.2
	Sill (C)	3.7613
	Range (a)	22
	Total sill (Co+C)	4.9613

c. Hasil ordinary kriging dan direct sequential simulation



Gambar 3.18 Blok Model Kriging Ketebalan Lapisan Bedrock

Untuk hasil simulasi dengan metode DSS dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 3.19 Blok Model DSS Ketebalan Lapisan Bedrock

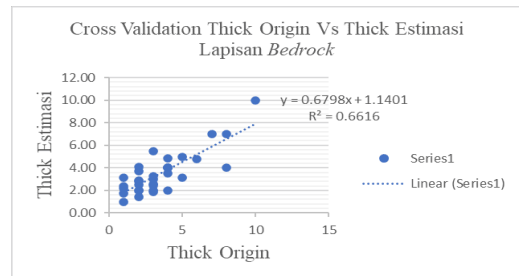
d. Korelasi Ketebalan original dengan ketebalan hasil estimasi dan simulasi

Tabel 3.9 Nilai Ketebalan Original dan Hasil Estimasi dan Simulasi Lapisan Bedrock

Ketebalan Original	Ketebalan Estimasi	Ketebalan Simulasi
2	2.00	2.00
2	2.83	2.00
4	4.00	4.00
4	4.00	4.00
3	3.00	3.21

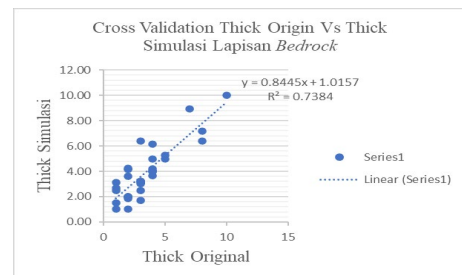
Ketebalan Original	Ketebalan Estimasi	Ketebalan Simulasi
1	1.00	1.52
2	2.86	3.59
7	7.00	8.95
3	1.98	2.47
10	10.00	10.00
1	2.39	2.49
4	4.00	4.97
3	1.88	1.71
6	4.81	5.50
5	3.14	5.28
3	3.23	3.00
2	2.47	1.87
1	2.21	2.69
8	4.00	6.39
2	4.07	4.24
4	4.83	4.19
4	3.54	3.66
1	1.76	1.00
1	3.12	3.13
2	1.42	1.00
2	2.00	2.00
2	3.72	4.15
3	2.56	3.10
3	5.51	6.41
3	2.46	3.20
4	2.00	6.15
5	5.00	5.00
8	7.00	7.19

e. Nilai regresi linear estimasi dan simulasi



Gambar 3.20 Grafik Korelasi Nilai Ketebalan Lapisan Bedrock

Untuk nilai regresi linear yang dihasilkan oleh simulasi menggunakan metode DSS dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.21 Grafik Korelasi Nilai Ketebalan Lapisan Bedrock

f. Perhitungan Volume *Bedrock*Tabel 3.10 Volume *bedrock*

Zona	Volume Estimasi (Bcm)	Volume Simulasi (Bcm)
<i>Bedrock</i>	4.365.000	4.365.000

4.4. Nilai Regresi Linear Per-zona

Tabel 3.11 Nilai *regresi linear*

Zona	Estimasi	Simulasi
Limonit	0,5789	0,8099
Saprolit	0.3	0.8
<i>Bedrock</i>	0.67	0.74

5. Penutup

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Blok model hasil estimasi cenderung lebih smoothing dibandingkan blok model hasil simulasi yang lebih realiable. Blok model hasil estimasi hanya menggambarkan nilai rata-rata lokal saja, sehingga tidak dapat mencerminkan nilai yang terlalu ekstrem atau tinggi. Sedangkan hasil simulasi didapatkan dari data estimasi sehingga nilai lokal menjadi parameter untuk mendapatkan nilai secara global atau menyeluruh pada lokasi *grid*, sehingga didapatkan ketebalan yang tidak jauh berbeda dari nilai ketebalan aslinya.
2. Pada zona limonit didapatkan hasil estimasi dan simulasi 4.363.200 bcm. Pada zona saprolit didapatkan volume estimasi dan simulasi 4.050.000 bcm, pada zona *bedrock* didapatkan volume estimasi dan simulasi 4.365.000 bcm. Dapat disimpulkan bahwa volume hasil estimasi dan simulasi mempunyai nilai yang sama karena penggunaan nilai *grid* dan jumlah blok yang didapatkannya sama.
3. Pada zona limonit nilai *regresi linear* yang paling ditunjukkan oleh metode simulasi yaitu 0,8099 yang artinya Korelasi antara dua variabel yaitu ketebalan original dengan ketebalan hasil simulasi kuat/erat, sedangkan pada hasil estimasi nilai *regresi linear* adalah 0,5789, sehingga ketidakpastian besar berada pada estimasi. Pada zona saprolit nilai korelasi yang besar ditunjukkan oleh metode simulasi yaitu 0.8 yang artinya korelasi antara ketebalan original dan ketebalan hasil simulasi termasuk ke dalam kategori kuat, sedangkan nilai *regresi linear* estimasi 0.3 ketidakpastian besar berada pada metode estimasi. Pada zona *bedrock* nilai korelasi yang besar ditunjukkan oleh metode simulasi 0.74, artinya hubungan antara ketebalan original dengan ketebalan hasil simulasi kategori kuat dan positif, dan ketidakpastian besar berada pada metode estimasi yaitu 0.67.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat penulis sampaikan setelah melaksanakan penelitian ini adalah :

1. Untuk menentukan ketepatan hasil metode simulasi perlu dilakukannya metode estimasi lainnya agar ketidakpastian yang di dapatkan lebih kecil atau regresi linearnya mendekati angka 1.
2. Untuk menentukan metode mana yang lebih efisien untuk digunakan perlu dilakukannya penambahan attribute pada zona untuk mendapatkan hasil sumberdaya dan *stripping ratio*.
3. *Fitting* variogram diharapkan lebih bagus lagi untuk mendapatkan nilai estimasi dan simulasi yang tidak jauh berbeda dengan nilai aslinya.

Referensi

- [1]Abidin, R. R., Susanto, V., & Wicaksono, H. M. H. (2022). KARAKTERISTIK ENDAPAN LATERIT NIKEL DAN UNSUR TANAH JARANG DI DAERAH PULAU GEBE, HALMAHERA TENGAH, MALUKU UTARA. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 17(2), 65-79. <https://doi.org/10.47599/bsdg.v17i2.345>
- [2]Batawen, U. (2021). *ESTIMASI SUMBERDAYA TERUKUR ENDAPAN BIJIH NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN METODE GEOSTATISTIK (ORDINARY CO-KRIGING)(Studi Kasus: Site Tinanggea PT Ifishdeco Tbk. Kecamatan Tinanggea Kabupaten Konawe Selatan, Sulawesi Tenggara)* (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- [3]Bohling, G. (2007). Introduction to Geostatistics in Hydro geophysics: theory, methods, and modeling. *Boise State University, Boise, Idaho*, 50.
- [4]Boucher, A., & Gosselin, P. (2014). *Geostatistical Simulation of Spatially Variable Properties: A Review. Geosciences*, 4(1), 1-20. DOI: 10.3390/geosciences4010001.
- [5]Bryanco, B., Yulhendra, D., & Octova, A. (2018). Estimasi Sumberdaya Batubara Menggunakan Metode Penampang dan Geostatistik Pada Area DDU Blok Timur Site Sungai Cuka, Kecamatan Kintap, Kabupaten Tanah Laut, Provinsi Kalimantan Selatan. *Bina Tambang*, 3(4), 1703-1713.
- [6]Caers, J. (2001). Geostatistical reservoir modelling using statistical pattern recognition. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 29(3-4), 177-188.
- [7]Cressie, N. (1993). *Statistics for Spatial Data*. Wiley-Interscience. DOI: 10.1002/9781119115151.
- [8]Fahmeyer, D, dkk. (2018). Uji Normalitas Dta Omzet Bulanan Pelaku Ekonomi Mikro Desa Senggigi Dengan Menggunakan Skewness dan Kurtosis. *Jurnal Varian*, E-ISSN 2581-2017, Vol.2 No.1, September 2018.

- [9]Goovaerts, P. (1997). "Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall." *Journal of Hydrology*, 228(1-2), 113-129. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00144-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00144-X)
- [10]Gusman, M. (2023). Estimasi Sumberdaya Batubara Dengan Menggunakan Metode Ordinary Kriging di CV. NISKA Dusun Senamat, Kecamatan Pelepat, Kabupaten Bungo, Provinsi Jambi. *Journals Mining Engineering: Bina Tambang*, 8(2), 119-127.
- [11]Hengl, T. (2007). A practical guide to geostatistical mapping of environmental variables. *Geospatial Analysis in the Social Sciences*, 1-20. DOI: 10.1007/978-1-4020-6100-3_1
- [12]Indonesia, K. C. M. (2017). Kode Pelaporan Hasil Eksplorasi, Sumber Daya Mineral dan Cadangan Mineral Indonesia. Komite Bersama KCMI.
- [13]International Council on Mining and Metals (ICMM). (2019). The role of mining in national economies. DOI: 10.1016/j.jom.2019.01.001.
- [14]Journel, A. G. (2002). Combining knowledge from diverse sources: An alternative to traditional data independence hypotheses. *Mathematical geology*, 34, 573-596.
- [15]Juita, I., Anshari, E., & Saputra, I. (2023). Estimasi Cadangan Endapan Nikel Laterit Pada Sub Blok 4 Blok TAA PT Bumi Nikel Nusantara Kecamatan Andowia Kabupaten Konawe Utara Provinsi Sulawesi Tenggara. *OPHIOLITE: Jurnal Geologi Terapan*, 5(2), 35-43. <https://doi.org/10.56099/ophi.v5i2.p35-43>
- [16]Krige, D. G. (1951). A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa*, 52(6), 119-139. https://doi.org/10.10520/AJA0038223X_5807
- [17]Li, Z., & Heap, A. D. (2014). A review of spatial interpolation methods for environmental applications. *Environmental Modelling & Software*, 53, 1-12. DOI: 10.1016/j.envsoft.2013.12.001.
- [18]Marques, C., Azevedo, L., Demianov, V., Soares, A., & Christie, M. (2015, September). Multiscale geostatistical history matching using block direct sequential simulation. In *Petroleum Geostatistics 2015* (pp. cp-456). European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201413609>
- [19]Prasetyo, G. L., Lepong, P., & Wahidah. (2023). Penggunaan Metode Geostatistik dalam Estimasi Kadar Nikel pada Cebakan Bijih Nikel Laterit Petea. *Jurnal Geosains Kutai Basin*, 6(2), 65-79. <https://doi.org/10.36986/pttp.v0i0.27>
- [20]Purnomo, H., & Sumarjono, E. (2015). GEOLOGI DAN ESTIMASI SUMBER DAYA NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN METODE ORDINARY KRIGING DI BLOK R, KABUPATEN KONawe â€“SULAWESI TENGGARA. ReTII.
- [21]Robertson, R. K., Mueller, U. A., & Bloom, L. M. (2006). Direct sequential simulation with histogram reproduction: A comparison of algorithms. *Computers & geosciences*, 32(3), 382-395. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.07.002>
- [22]Sabeti, H., & Moradpour, F. (2022). A Practical Comparison between Gaussian and Direct Sequential Simulation Algorithms using a 3D Porosity Dataset. *Journal of Mining and Environment*, 13(2), 547-557. <https://doi.org/10.22044/jme.2022.11874.2180>
- [23]Sabeti, H., Moradzadeh, A., Ardejani, F. D., Azevedo, L., Soares, A., Pereira, P., & Nunes, R. (2017). Geostatistical seismic inversion for non-stationary patterns using direct sequential simulation and co-simulation. *Geophysical Prospecting*, 65, 25-48. <https://doi.org/10.1111/1365-2478.12502>
- [24]Sari, R., et al. 2020. "Geological Mapping and Nickel Laterite Exploration in Indonesia: A Case Study in Maluku Utara." *Journal of Mineral Resources and Engineering*, 9(2), 45-58. doi:10.4236/jmre.2020.92005
- [25]Strebelle, S. (2002). Conditional simulation of complex geological structures using multiple-point statistics. *Mathematical geology*, 34, 1-21.
- [26]Sugiarti, N. (2013). Pengujian autokorelasi pada model regresi spasial lag dengan statistik uji Moran : Kasus penyakit demam berdarah dengue (dbd) di Jawa timur tahun 2009.
- [27]Syaharani, M. (2024, November 13). Jumlah dan Sebaran Nikel di Indonesia, Maluku Utara Miliki Cadangan Terbanyak. [Katadata.co.id](https://katadata.co.id).
- [28]Syahrul, S., & Kumalasari, R. (2024). Estimasi Cadangan Nikel Laterit Menggunakan Metode Inverse Distance Weight dan Kriging di Blok X pada PT. Tambang Bumi Sulawesi, Kabaena Selatan Kabupaten Bombana, Sulawesi Tenggara. *Mining Science And Technology Journal*, 3(1), 39-50. <https://doi.org/10.54297/minetech-journal.v3i1.601>
- [29]Taufiqurrahman, R., Yulhendra, D., & Octova, A. (2015). Perbandingan Estimasi Sumberdaya Batubara Menggunakan Metode Kriging Biasa dan Metode Cross Section di PT. Nan Riang Jambi. *Bina Tambang*, 2 (1), 311-325.
- [30]Trescases, J.-J. (1992). Chemical weathering. Dalam C. R. M. Butt & H. Zeegers (Ed.), *Regolith exploration geochemistry in tropical and subtropical terrains*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/c2009-0-12888-x>
- [31]van Der Grijp, Y., & Minnitt, R. C. A. (2015). Application of direct sampling multi-point statistic and sequential gaussian simulation algorithms for modelling uncertainty in gold deposits. *Journal of the Southern African Institute*

of Mining and Metallurgy, 115(1), 73-85.
Batawen, U. (2021). Estimasi Sumberdaya Terukur Endapan Bijih Nikel Laterit Menggunakan Metode Geostatistik (Ordinary Co-Kriging) (Studi Kasus: Site Tinanggea PT Ifishdeco Tbk. Kecamatan Tinanggea Kabupaten Konawe Selatan, Sulawesi Tenggara) (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).