



## Estimasi Sumberdaya Nikel Laterit Menggunakan Metode Geostatistik di Kecamatan Lasolo Kepulauan, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara

Hadi Zulkarnain Ladianto<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Halu Oleo Kendari

### Info Artikel

Diajukan: 20-12-2025

Diterima: 24-12-2025

Diterbitkan: 31-01-2026

### Keywords:

Resource Estimation;

Laterite Nickel;

Geostatistic; Ordinary

Kriging

### Kata Kunci:

Estimasi Sumberdaya;

Nikel Laterit; Geostatistik;

Ordinary Kriging



Lisensi: cc-by-sa

### ABSTRACT

*This study aims to estimate laterite nickel resources using a geostatistical approach with the Ordinary Kriging method in Lasolo Kepulauan District, North Konawe Regency, Southeast Sulawesi Province. Laterite nickel deposits in tropical regions generally exhibit high spatial variability, which can lead to significant uncertainty if estimated using conventional methods. Therefore, a geostatistical approach was applied to account for spatial continuity and variability of nickel grades. The research utilized drilling data consisting of collar coordinates, lithology, depth, and nickel assay values. Data preparation included compositing, statistical analysis, and variogram modeling for limonite and saprolite zones. Resource estimation was conducted using a three-dimensional block model with dimensions of 12.5 m × 12.5 m × 1 m. The results show that the limonite zone contains total resources of 2,954,750 tons with an average Ni grade of 1.03%, dominated by medium-grade material. Meanwhile, the saprolite zone contains 2,273,500 tons with a higher average Ni grade of 1.97%, consisting entirely of ore-grade material. These results indicate that Ordinary Kriging provides a representative and reliable estimation of laterite nickel resources and can be effectively applied to support mine planning and resource evaluation.*

### ABSTRAK

*Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi sumberdaya nikel laterit menggunakan metode geostatistik dengan pendekatan Ordinary Kriging di Kecamatan Lasolo Kepulauan, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Endapan nikel laterit di wilayah tropis umumnya memiliki variabilitas spasial kadar yang tinggi, sehingga berpotensi menimbulkan ketidakpastian apabila diestimasi menggunakan metode konvensional. Oleh karena itu, pendekatan geostatistik diterapkan untuk mempertimbangkan kontinuitas dan hubungan spasial data kadar nikel. Data yang digunakan berupa data pemboran yang meliputi koordinat, litologi, kedalaman, serta kadar nikel hasil analisis laboratorium. Tahapan penelitian mencakup preparasi data, analisis statistik, pemodelan variogram, dan estimasi sumberdaya menggunakan model blok tiga dimensi berukuran 12,5 m × 12,5 m × 1 m. Hasil estimasi menunjukkan bahwa zona limonit memiliki total sumberdaya sebesar 2.954.750 ton dengan kadar rata-rata Ni 1,03%, yang didominasi oleh bijih berkadar menengah. Zona saprolit memiliki total sumberdaya sebesar 2.273.500 ton dengan kadar rata-rata Ni 1,97% dan seluruhnya merupakan bijih ekonomis. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode Ordinary Kriging mampu memberikan estimasi sumberdaya nikel laterit yang representatif dan andal untuk mendukung evaluasi sumberdaya dan perencanaan penambangan.*

### Corresponding Author:

Hadi Zulkarnain Ladianto

Teknik Pertambangan, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia.

[hadi.zulkarnain@uho.ac.id](mailto:hadi.zulkarnain@uho.ac.id)

### PENDAHULUAN

Endapan nikel laterit merupakan salah satu sumber utama nikel dunia yang terbentuk akibat proses pelapukan kimia batuan ultramafik di lingkungan tropis hingga subtropis. Indonesia, khususnya wilayah Sulawesi Tenggara, memiliki potensi sumberdaya nikel laterit yang signifikan dan berperan

penting dalam rantai pasok industri nikel global. Proses lateritisasi menghasilkan zonasi vertikal yang kompleks, umumnya terdiri atas zona limonit, transisi, dan saprolit, dengan variasi kadar nikel yang cukup tajam antar zona.

Variabilitas kadar yang tinggi dan sebaran data pemboran yang terbatas sering kali menimbulkan ketidakpastian dalam estimasi sumberdaya apabila hanya menggunakan metode konvensional berbasis rata-rata sederhana. Oleh karena itu, pendekatan geostatistik menjadi pilihan utama dalam industri pertambangan modern karena mampu mempertimbangkan hubungan spasial antar data dan menghasilkan estimasi yang tidak bias dengan tingkat ketidakpastian terukur (Journel & Huijbregts, 1978; Isaaks & Srivastava, 1989).

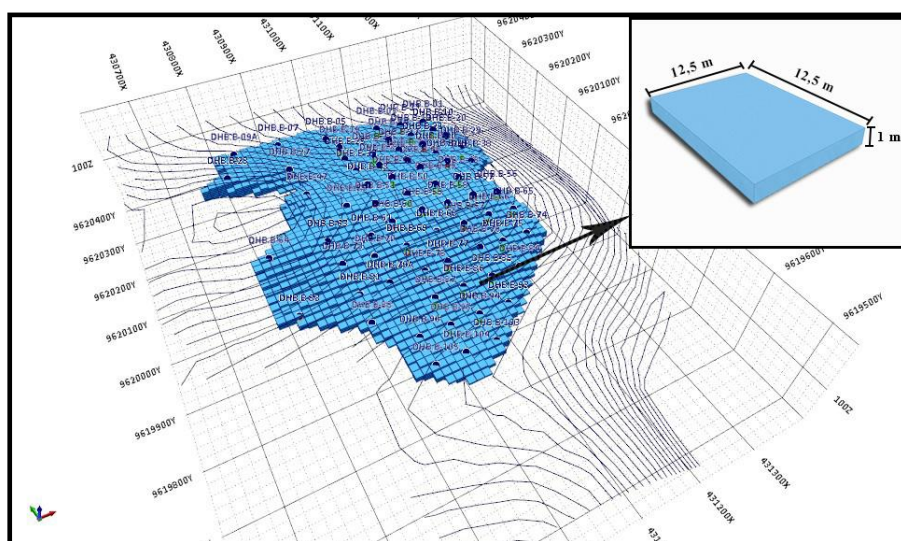
*Ordinary kriging* merupakan metode geostatistik yang paling luas digunakan dalam estimasi sumberdaya mineral karena fleksibilitas asumsi nilai rata-rata lokal yang tidak diketahui namun konstan dalam area pencarian. Metode ini telah diaplikasikan secara luas pada berbagai tipe endapan, termasuk nikel laterit, dan terbukti mampu memberikan hasil estimasi yang lebih representatif dibandingkan metode interpolasi deterministik (Goovaerts, 1997; Rossi & Deutsch, 2014).

*Penelitian* ini bertujuan untuk melakukan estimasi sumberdaya nikel laterit menggunakan metode Geostatistik dengan pendekatan *ordinary kriging* yang dapat diadaptasi dengan data aktual. Lokasi penelitian difokuskan pada Kecamatan Lasolo Kepulauan, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara.

## METODE

Penelitian ini dilaksanakan di wilayah Kecamatan Lasolo Kepulauan, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Pendekatan yang digunakan adalah metode geostatistik dengan pendekatan *ordinary kriging* (OK) untuk mengestimasi distribusi kadar nikel (Ni) ke dalam model blok tiga dimensi. Metode *ordinary kriging* diterapkan dengan asumsi bahwa rata-rata variabel regionalisasi bersifat konstan tetapi tidak diketahui dalam suatu lingkungan lokal, sehingga metode ini sesuai untuk memodelkan endapan nikel laterit yang menunjukkan variabilitas spasial tinggi namun masih memiliki kontinuitas lokal.

Estimasi kadar nikel dilakukan pada model blok dengan ukuran  $12,5\text{ m} \times 12,5\text{ m} \times 1\text{ m}$ , yang ditetapkan berdasarkan prinsip seperempat jarak rata-rata antar lubang bor, yaitu sekitar 50 meter, guna menjamin keterwakilan data terhadap setiap blok estimasi. Parameter estimasi meliputi model variogram terpilih, radius pencarian, serta jumlah minimum dan maksimum data komposit yang digunakan dalam setiap proses kriging.



Gambar 1. Konstruksi model blok (sumber : Ladianto, H., Z. 2021)

Hasil estimasi *ordinary kriging* menghasilkan nilai kadar blok beserta varians kriging yang digunakan sebagai indikator tingkat ketidakpastian estimasi. Selanjutnya, blok-blok hasil estimasi tersebut digunakan sebagai dasar dalam evaluasi dan klasifikasi sumberdaya mineral sesuai dengan tingkat kepercayaan data dan kontinuitas geologi. Data yang dianalisis dalam penelitian ini berupa model blok sumberdaya yang dihasilkan dari proses estimasi menggunakan metode *ordinary kriging*.

#### **Data Pemboran dan Preparasi Data**

Data pemboran yang digunakan dalam estimasi sumberdaya meliputi koordinat lubang bor (X, Y, Z), kedalaman, litologi, serta data kadar nikel hasil analisis laboratorium. Data kadar dikompositkan berdasarkan interval tertentu agar mewakili ketebalan zona mineralisasi secara konsisten. Proses validasi dan pembersihan data dilakukan untuk menghindari kesalahan input dan outlier yang tidak merepresentasikan kondisi geologi sebenarnya (Rossi & Deutsch, 2014).

#### **Analisis Statistik Deskriptif**

Analisis statistik deskriptif bertujuan untuk memahami karakter distribusi data kadar nikel sebelum dilakukan analisis spasial. Parameter statistik yang umum digunakan meliputi nilai minimum, maksimum, rata-rata, median, simpangan baku, dan koefisien variasi. Data kadar nikel pada endapan laterit umumnya menunjukkan distribusi tidak normal dengan kecenderungan skewness positif, sehingga diperlukan evaluasi terhadap kemungkinan transformasi data (Isaaks & Srivastava, 1989).

#### **Analisis Variogram**

Variogram merupakan fungsi geostatistik yang digunakan untuk menggambarkan tingkat kontinuitas spasial suatu variabel regionalisasi, seperti kadar nikel, sebagai fungsi jarak pemisah antar data. Variogram menjadi dasar utama dalam metode kriging karena menentukan bobot estimasi berdasarkan hubungan spasial antar sampel (Journel & Huijbregts, 1978). Secara matematis, semivariogram didefinisikan sebagai setengah nilai harapan kuadrat selisih antara dua nilai variabel yang dipisahkan oleh vektor jarak  $\vec{h}$ , yang dinyatakan dengan persamaan (Matheron, 1963):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E [(Z(x) - Z(x+h))^2]$$

Yaitu dimana  $Z(x)$  adalah nilai kadar pada lokasi  $x$ , dan  $Z(x+h)$  adalah nilai kadar pada lokasi yang berjarak  $h$  dari titik tersebut. Variogram empiris dihitung dari pasangan data aktual dan selanjutnya dimodelkan menggunakan fungsi teoritis.

Model variogram teoritis yang umum digunakan dalam estimasi sumberdaya mineral meliputi *spherical*, *exponential*, dan *gaussian*, yang dipilih berdasarkan kecocokan terhadap variogram empiris dan interpretasi kondisi geologi. Parameter utama variogram terdiri atas *nugget*, *sill*, dan *range*, yang masing-masing merepresentasikan variabilitas mikro atau kesalahan pengukuran, varians total data, serta jarak maksimum pengaruh spasial antar sampel (Chilès & Delfiner, 2012; Goovaerts, 1997).

Selain itu, analisis anisotropi dilakukan dengan menghitung variogram pada berbagai arah untuk mengidentifikasi perbedaan kontinuitas spasial yang dikontrol oleh struktur geologi atau proses pelapukan. Pemodelan variogram yang tepat sangat berpengaruh terhadap kualitas estimasi menggunakan *ordinary kriging* karena seluruh bobot kriging diturunkan langsung dari model variogram tersebut (Rossi & Deutsch, 2014).

#### **Ordinary Kriging**

*Ordinary kriging* (OK) merupakan metode estimasi geostatistik linier yang digunakan untuk memperkirakan nilai suatu variabel regionalisasi dengan asumsi rata-rata lokal bersifat konstan namun tidak diketahui. Metode ini banyak diterapkan dalam estimasi sumberdaya mineral karena mampu menghasilkan estimasi yang tidak bias dengan varians minimum, serta mempertimbangkan kontinuitas spasial data melalui model variogram (Bargawa, 2019). Secara matematis, estimasi Ordinary Kriging pada suatu lokasi atau blok  $x_0$  dinyatakan sebagai kombinasi linier berbobot dari data sampel di sekitarnya (Bargawa, 2019):

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=x}^n \lambda_i Z_{(x_i)}$$

dengan syarat ketidakbiasan (unbiasedness):

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

Yaitu dimana  $\hat{Z}(x_0)$  merupakan nilai estimasi,  $Z_{(x_i)}$  adalah nilai kadar pada sampel ke- $i$ , dan  $\lambda_i$  merupakan bobot kriging yang ditentukan berdasarkan hubungan spasial antar data yang direpresentasikan oleh variogram. Bobot tersebut diperoleh dengan meminimalkan varians kriging, yang bergantung pada geometri data dan parameter variogram (Bargawa, 2019; Bargawa & Winarno, 2020).

Dalam estimasi sumberdaya nikel laterit, *ordinary kriging* diaplikasikan pada blok model untuk memperoleh distribusi kadar yang lebih representatif terhadap kondisi geologi, dibandingkan metode interpolasi deterministik, karena secara eksplisit mempertimbangkan struktur kontinuitas spasial data (Bargawa, 2022).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Statistik Data

Analisis statistik dilakukan pada data Ni pada pemboran tiap kedalaman. Analisis statistik digunakan untuk mengetahui karakteristik domain tiap litologi. Hasil statistik dapat dilihat pada tabel 1.

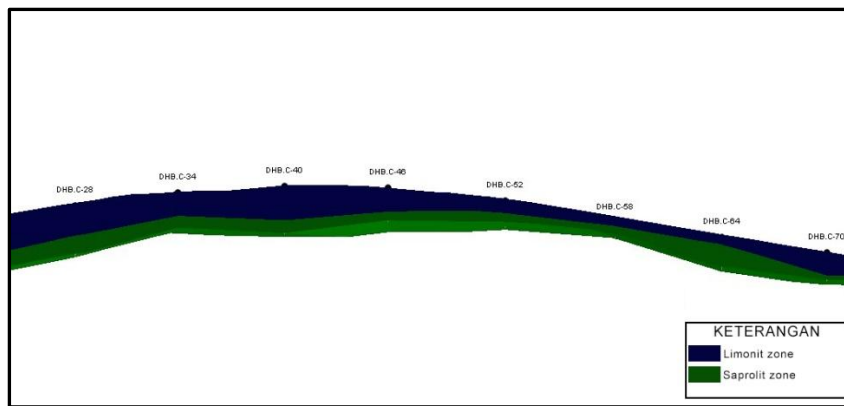
Tabel 1. Analisis statistik data pemboran tiap zona

Parameter	Zona	
	Limonit	Saprolit
<i>Minimum Value</i>	0,34	1,50
<i>Maximum Value</i>	1,74	3,26
<i>N (jumlah data)</i>	367	158
<i>Mean</i>	1,10	2,02
<i>Variance</i>	0,07	0,12
<i>Standard Deviation</i>	0,26	0,35
<i>Coeff. Of Variation</i>	0,24	0,17
<i>Median</i>	1,07	1,98

Berdasarkan analisis statistik data pemboran, zona saprolit menunjukkan kadar nikel yang lebih tinggi dibandingkan zona limonit, dengan nilai rata-rata masing-masing sebesar 2,02% dan 1,10%. Rentang kadar pada zona saprolit juga lebih lebar, yang tercermin dari nilai maksimum 3,26% dan simpangan baku 0,35, dibandingkan zona limonit dengan nilai maksimum 1,74% dan simpangan baku 0,26. Hal ini mengindikasikan tingkat heterogenitas kadar yang lebih tinggi pada zona saprolit akibat proses pengayaan supergen. Meskipun demikian, nilai koefisien variasi pada kedua zona relatif rendah ( $CV < 0,25$ ), menunjukkan kontinuitas data yang cukup baik dan memenuhi asumsi untuk dilakukan estimasi menggunakan metode geostatistik, khususnya *ordinary kriging*.

### Model Geologi

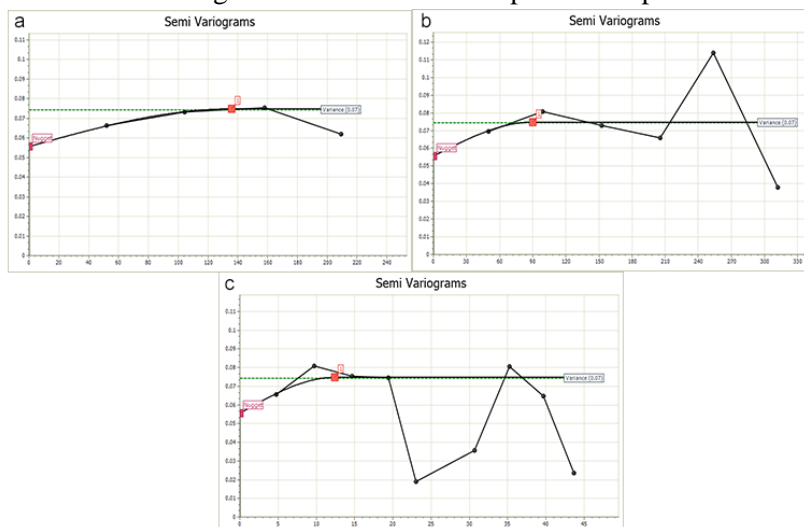
Model geologi disusun sebagai representasi tiga dimensi dari kondisi geologi bawah permukaan yang mencakup sebaran litologi, ketebalan zona lateritisasi, serta hubungan spasial antar satuan batuan pembentuk endapan nikel laterit. Penyusunan model geologi didasarkan pada interpretasi data pemboran, deskripsi litologi, dan pemahaman proses pembentukan endapan laterit pada batuan ultramafik. Model penampang geologi dapat dilihat pada gambar 2.



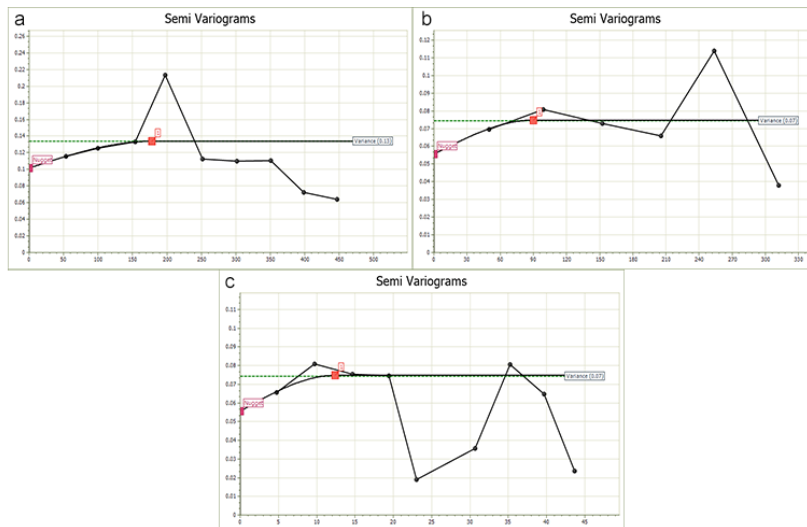
Gambar 2. Penampang Model Geologi

### Analisis Variogram

Analisis variogram dilakukan untuk mengidentifikasi tingkat kontinuitas spasial kadar nikel pada masing-masing zona laterit. Variogram eksperimental menunjukkan adanya korelasi spasial yang jelas hingga jarak tertentu, yang mengindikasikan bahwa data kadar nikel tidak terdistribusi secara acak. Model variogram teoritis yang dipilih mampu merepresentasikan pola variogram eksperimental dengan baik melalui parameter *nugget*, *sill*, dan *range*, di mana nilai *range* mencerminkan jarak pengaruh spasial antar data pemboran. Keberadaan *nugget* yang relatif kecil menunjukkan bahwa variabilitas mikro dan kesalahan pengukuran tidak mendominasi data. Hasil analisis variogram ini menjadi dasar utama dalam penentuan bobot pada estimasi *ordinary kriging* dan memastikan bahwa estimasi kadar dilakukan sesuai dengan struktur kontinuitas spasial endapan.

Gambar 3. Semivariogram zona limonit: (a) Major Direction  $90^{\circ}$  plunge  $3^{\circ}$ , (b) Semimajor  $180,69^{\circ}$  plunge  $13^{\circ}$ , (c) Downhole

Analisis semivariogram zona limonit menunjukkan adanya kontinuitas spasial kadar nikel yang relatif baik hingga jarak tertentu, yang ditunjukkan oleh peningkatan nilai semivarian seiring bertambahnya jarak sebelum mencapai kondisi mendekati *sill*. Nilai *nugget* yang relatif kecil mengindikasikan bahwa pengaruh variabilitas mikro dan kesalahan pengukuran tidak dominan pada data limonit. Semivariogram pada beberapa arah memperlihatkan pola yang relatif konsisten, meskipun terdapat fluktuasi nilai semivarian pada jarak yang lebih jauh akibat keterbatasan jumlah pasangan data. Secara umum, karakter semivariogram ini menunjukkan bahwa zona limonit memiliki struktur spasial yang cukup stabil dan layak digunakan sebagai dasar pemodelan variogram dalam estimasi sumberdaya menggunakan metode *ordinary kriging*.



Gambar 4. Semivariogram zona limonit: (a) *Major Direction 0° plunge 5°*, (b) *Semimajor 90° plunge -3°*, (c) *Downhole*

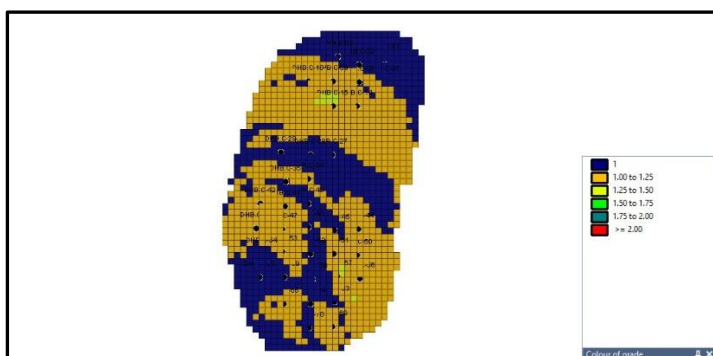
Analisis semivariogram pada zona saprolit menunjukkan kontinuitas spasial kadar nikel yang masih teridentifikasi, namun dengan tingkat fluktuasi semivarian yang lebih tinggi dibandingkan zona limonit. Nilai *nugget* relatif kecil hingga sedang, menandakan bahwa pengaruh variabilitas mikro dan kesalahan pengukuran masih terkendali, meskipun heterogenitas lokal cukup berkembang. Pada jarak tertentu, semivariogram mencapai kondisi mendekati *sill*, yang mencerminkan batas pengaruh spasial antar data pemboran, sementara fluktuasi nilai semivarian pada jarak yang lebih jauh mengindikasikan keterbatasan jumlah pasangan data serta variasi geologi lokal. Secara keseluruhan, pola semivariogram ini menunjukkan bahwa zona saprolit memiliki struktur spasial yang cukup kompleks namun masih layak dimodelkan untuk keperluan estimasi sumberdaya menggunakan metode *Ordinary Kriging*.

#### Estimasi Sumberdaya Ni

Estimasi sumberdaya nikel laterit dilakukan menggunakan metode *ordinary kriging* dengan mengacu pada model geologi, hasil analisis statistik, serta model variogram yang telah ditetapkan pada masing-masing zona. Proses estimasi diterapkan pada model blok tiga dimensi dengan ukuran  $12,5 \times 12,5 \times 1$  meter, sehingga mampu merepresentasikan variasi vertikal dan lateral kadar nikel secara memadai. Pemisahan domain estimasi berdasarkan zona limonit dan saprolit dilakukan untuk memastikan bahwa perbedaan karakteristik geologi dan kontinuitas spasial kadar nikel dapat dimodelkan secara konsisten.

Tabel 2. Hasil estimasi sumberdaya Ni zona limonit

Grade (%)		Volume (m <sup>3</sup> )	Tonnes (t)	Density (ton/m <sup>3</sup> )	Ni (%)
0,00	1,00	617.656,25	988.250	1,60	0,91
1,00	1,50	1.229.062,50	1.966.500	1,60	1,09
1,50	2,00	-	-	-	-
2,00	2,50	-	-	-	-
Total		1.846.718,75	2.954.750	1,60	1,03



Gambar 5. Blok model estimasi sumberdaya menggunakan metode kriging zona limonit.

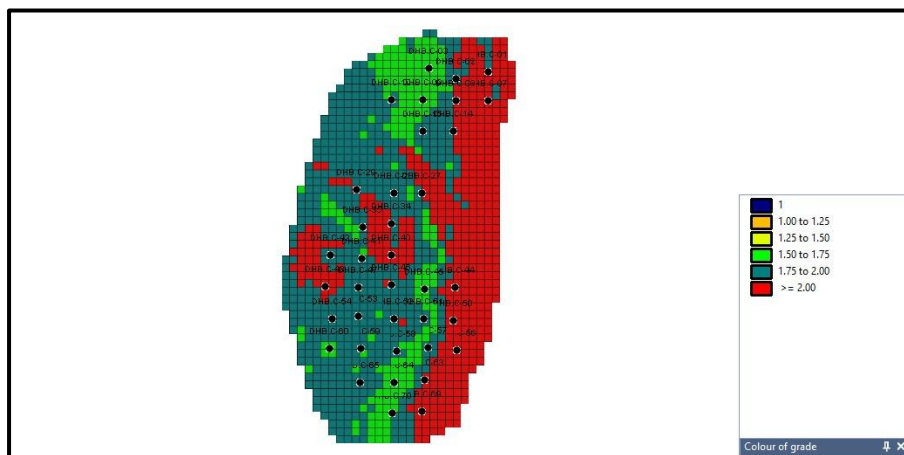


Analisis Tabel Estimasi Sumber Daya Berdasarkan Tabel 2, sumberdaya nikel di zona limonit memiliki total tonase sebesar 2.954.750 ton dengan rata-rata kadar Ni 1,03%. Distribusi kadar menunjukkan bahwa area ini didominasi oleh bijih kadar menengah (1,00% – 1,50%) yang menyumbang volume terbesar yaitu sekitar 1,96 juta ton. Sebaliknya, terdapat sejumlah besar material berkadar rendah (*low grade* <1,00%) sebanyak 988.250 ton. Data menunjukkan ketiadaan bijih nikel kadar tinggi (*high grade*) di atas 1,50% pada zona ini.

Blok model memvisualisasikan hasil estimasi secara spasial. Area didominasi oleh blok berwarna kuning mustard (kadar 1.00 – 1.25), yang konsisten dengan data tabel di mana rentang ini memiliki tonase terbesar. Blok berwarna biru tua (kadar <1.00) tersebar di bagian *perifer* (pinggir) dan beberapa blok di tengah, merepresentasikan material *low grade*. Hampir tidak terlihat adanya blok berwarna hijau atau merah, yang mengonfirmasi bahwa zona limonit ini memang tidak memiliki potensi bijih kadar tinggi (>1.50%).

Tabel 3. Hasil estimasi sumberdaya Ni zona Saprolit

Grade (%)		Volume (m <sup>3</sup> )	Tonnes (t)	Density (ton/m <sup>3</sup> )	Ni (%)
0,00	1,00	-	-	-	-
1,00	1,50	-	-	-	-
1,50	2,00	797.656,25	1.276.250	1,60	1,83
2,00	2,50	623.281,25	997.250	1,60	2,13
Total		1.420.937,50	2.273.500	1,60	1,97



Gambar 6. Blok model estimasi sumberdaya menggunakan metode kriging zona saprolit

Analisis Tabel Estimasi Sumberdaya (Saprolit) Berdasarkan Tabel 3, zona Saprolit ini memiliki kualitas bijih yang tinggi. Tidak ditemukan adanya material berkadar rendah (dibawah 1,50%), sehingga seluruh volume yang terestimasi merupakan *ore* (bijih) siap tambang. Total sumber daya mencapai 2.273.500 ton dengan kadar rata-rata Ni yang sangat tinggi yaitu 1,97%. Komposisi tonase didominasi oleh grade 1,50-2,00% sebanyak 1,27 juta ton, namun juga memiliki sumberdaya *high grade* (2,00-2,50%) yang signifikan sebesar 997.250 ton.

Analisis visual blok model pada zona saprolit menunjukkan distribusi spasial yang konsisten dengan tabel, di mana tidak terlihat adanya blok berwarna biru atau kuning (kadar rendah). Peta didominasi oleh blok berwarna merah (kadar  $\geq 2,00\%$ ) yang terkonsentrasi kuat di sisi timur (kanan) area, serta blok berwarna hijau tua/tosca (kadar 1,75-2,00%) yang mendominasi sisi barat (kiri). Zonasi yang jelas ini memudahkan perencanaan penambangan (*mine planning*), dimana sisi timur dapat dijadikan prioritas untuk mendapatkan kadar nikel tertinggi guna *blending* atau penjualan langsung.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil estimasi sumberdaya nikel laterit menggunakan metode geostatistik *ordinary kriging* di Kecamatan Lasolo Kepulauan, Kabupaten Konawe Utara, dapat disimpulkan bahwa pendekatan geostatistik mampu merepresentasikan distribusi spasial kadar nikel secara lebih akurat

dibandingkan metode konvensional. Analisis statistik menunjukkan bahwa zona saprolit memiliki kadar nikel yang lebih tinggi dan heterogenitas yang lebih besar dibandingkan zona limonit, namun kedua zona masih memenuhi asumsi kontinuitas spasial untuk penerapan metode kriging.

Hasil estimasi menunjukkan bahwa zona limonit memiliki total sumberdaya sebesar 2.954.750 ton dengan kadar rata-rata Ni 1,03%, yang didominasi oleh material berkadar menengah hingga rendah. Sementara itu, zona saprolit memiliki total sumberdaya sebesar 2.273.500 ton dengan kadar rata-rata Ni 1,97%, dan seluruhnya tergolong sebagai bijih ekonomis dengan potensi *high grade* yang signifikan. Distribusi spasial kadar pada model blok menunjukkan zonasi yang jelas, sehingga dapat dimanfaatkan secara optimal dalam perencanaan penambangan dan penentuan prioritas produksi.

Secara keseluruhan, metode *ordinary kriging* terbukti efektif dan andal dalam estimasi sumberdaya nikel laterit pada daerah penelitian, serta dapat dijadikan dasar dalam evaluasi sumberdaya dan pengambilan keputusan teknis di tahap perencanaan tambang.

## REFERENSI

- Bargawa, W. S. (2019). *Geostatistika Terapan untuk Estimasi Sumberdaya Mineral*. Yogyakarta: Teknik Pertambangan UPN “Veteran” Yogyakarta
- Bargawa, W. S., & Winarno, E. (2020). Penerapan metode kriging dalam estimasi sumberdaya mineral. *Jurnal Teknologi Mineral*, 27(2), 85–94.
- Bargawa, W. S. (2022). The performance of estimation techniques for laterite nickel deposits. *Jurnal Teknologi*, 84(5). <https://doi.org/10.11113/jurnalteknologi.v84.17560>
- Chilès, J. P., & Delfiner, P. (2012). *Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118136188>
- Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press.
- Isaaks, E. H., & Srivastava, R. M. (1989). *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press.
- Journel, A. G., & Huijbregts, C. J. (1978). *Mining Geostatistics*. Academic Press.
- Ladianto, H. Z. (2021) *Permodelan dan Estimasi Sumberdaya Nikel Laterit Menggunakan Metode Geostatistik (Studi Kasus Bijih Nikel di Sulawesi Tenggara)*. UPNV Yogyakarta. Yogyakarta
- Matheron, G. (1963). Principles of geostatistics. *Economic Geology*, 58(8), 1246–1266. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.58.8.1246>
- Rossi, M. E., & Deutsch, C. V. (2014). *Mineral Resource Estimation*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5717-5>