

Pemetaan Endapan Laterit Nikel Dengan Menggunakan Metode Interpolasi *Ordinary Kriging* Di Blok “S” Kabupaten Konawe – Sulawesi Tenggara

Hendro Purnomo

Jurusan Teknik Pertambangan, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional

Korespondensi hendro.purnomo.hpu@gmail.com

ABSTRAK

Dalam penelitian ini dilakukan analisis pendekatan metode *ordinary kriging* (OK) dalam penaksiran kadar dan ketebalan untuk digunakan dalam memetakan sebaran laterit nikel dan penaksiran sumberdaya. Penelitian dilakukan berdasarkan data hasil pengeboran prospeksi sebanyak 28 titik bor. Pemilihan model variogram dilakukan berdasarkan nilai parameter *root mean square error* (RMSE) yang diperoleh dari prosedur *cross validation*. Model dengan nilai RMSE terkecil dipilih sebagai yang terbaik. *Fitting* variogram eksperimental dilakukan dengan menggunakan model *spherical*, *exponential* dan *gaussian*. Hasil analisis menunjukkan bahwa variogram *exponential* adalah yang terbaik untuk kadar Ni pada zona limonit dan saprolit, sedangkan untuk variabel ketebalan variogram *spherical* adalah yang terbaik untuk zona limonit dan *gaussian* untuk zona saprolit. Hasil interpolasi menghasilkan sebaran bijih limonit dengan kadar >1% Ni masih terbuka kearah timur dan barat daya dari daerah penelitian, sedangkan bijih saprolit masih terbuka kearah timur, selatan dan barat. Dengan asumsi *cut-off grade* limonit adalah 1% Ni dengan densitas 1,6 ton/m³ dan saprolit adalah 1,2% Ni dan densitas saprolit 1,5 ton/m³, maka estimasi sumberdaya pada zona limonit adalah ±83,8 juta ton bijih dengan kadar rata-rata 1,04% Ni atau setara dengan ± 868,6 ribu ton logam nikel, sedangkan pada zona saprolit mengandung ±40,62 juta ton bijih dengan kadar rata-rata 1,42% Ni atau setara dengan ± 688,9 ribu ton logam nikel. Berdasarkan parameter *root mean square standardized prediction error* (RMSP) hasil interpolasi kadar Ni pada kedua zona, limonit dan saprolit, menunjukkan hasil estimasi kurang akurat dengan nilai taksiran *underestimated*.

Kata kunci : interpolasi, limonit, OK, RMSE.

ABSTRACT

In this study an ordinary kriging (OK) method approach was used to assess the levels and thickness for use in mapping nickel laterite distribution and resource estimation. The study was conducted based on prospective drilling data as many as 28 drill points. The selection of the variogram model is based on the root mean square error (RMSE) parameter value obtained from the cross validation procedure. The model with the smallest RMSE value is chosen as the best. Experimental variogram fittings were carried out using the spherical, exponential and gaussian models. The analysis showed that the exponential variogram was the best for Ni content in the limonite and saprolite zones, whereas for the spherical variogram thickness variable it was the best for the limonite and gaussian zones for the saprolite zone. The interpolation results in the distribution of limonite ore with levels > 1% Ni still open towards the east and southwest of the study area, while saprolite ore is still open towards the east, south and west. Assuming the cut-off grade of limonite is 1% Ni with a density of 1.6 tons / m³ and saprolite is 1.2% Ni and saprolite density of 1.5 tons / m³, the estimated resource in the limonite zone is ± 83.8 million tons ore with an average level of 1.04% Ni or equivalent to ± 868.6 thousand tons of nickel metal, whereas in the saprolite zone it contains ± 40.62 million tons of ore with an average content of 1.42% Ni or equivalent to ± 688, 9 thousand tons of nickel metal. Based on root mean square standardized prediction error (RMSP) parameters, the results of Ni level interpolation in both zones, limonite and saprolite, show that estimation results are less accurate with underestimated estimation values.

Keyword: interpolation, limonite, OK, RMSE

1. PENDAHULUAN (10 PT)

Laterit nikel terbentuk sebagai produk residu dari proses pelapukan kimia dari suatu batuan yang kaya dengan mineral olivin dengan kandungan Ni 0,2–0,4% [1]. Keterdapatannya dan distribusinya dipengaruhi oleh kombinasi beberapa faktor yang saling berkaitan seperti iklim, geomorfologi, lithologi dan struktur

geologi baik dalam skala regional maupun lokal [1]. Secara umum profil endapan laterit nikel terdiri dari zona saprolit yang terletak di bagian bawah dan zona limonit di bagian atas. Zona saprolit umumnya mengandung kadar Ni relatif lebih tinggi dan Fe rendah, sedangkan zona limonit mengandung kadar Ni relatif lebih rendah tetapi mempunyai kadar Fe lebih tinggi [5].

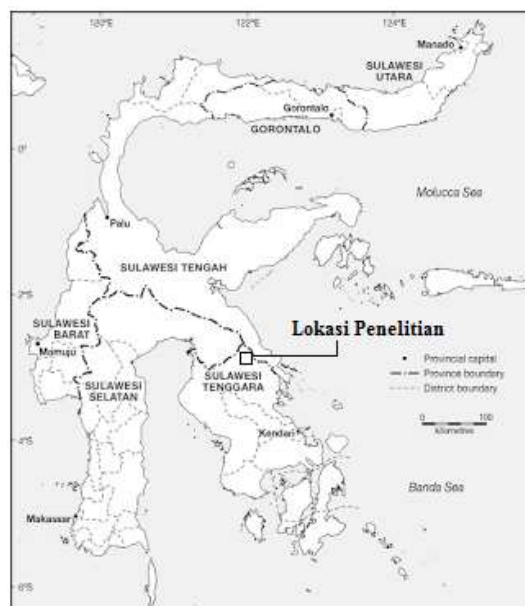
Dalam setiap tahapan eksplorasi pemetaan sebaran bijih dan penaksiran sumberdaya perlu dilakukan untuk bahan evaluasi apakah kegiatan eksplorasi tersebut akan dilanjutkan pada kegiatan tahap eksplorasi berikutnya atau tidak. Ada beberapa metode interpolasi geostatistik yang telah dikembangkan dalam perangkat lunak (software) yang dapat digunakan dalam penaksiran kadar dan sumberdaya atau cadangan. Salah satu metode yang sering digunakan dalam kegiatan eksplorasi adalah Ordinary Kriging (OK), karena metode ini sederhana dan mudah difahami. Umumnya metode OK dipergunakan karena selain memberikan nilai taksiran kriging juga memberikan nilai variansi kriging sebagai ukuran reliabilitas. Metode ini sudah memasukkan aspek spasial atau posisi dari titik referensi yang akan digunakan untuk menaksir suatu titik tertentu. Proses kriging akan memberikan nilai pengestimasi kadar suatu titik/ blok berdasarkan kadar-kadar sampel yang telah dikoreksi.

Tujuan penelitian ini dilakukan untuk memetakan sebaran bijih secara lateral dan estimasi sumberdaya nikel pada zona limonit dan saprolit dengan menggunakan metode interpolasi Ordinary Kriging untuk penaksiran kadar nikel dan ketebalan zona mineralisasi.

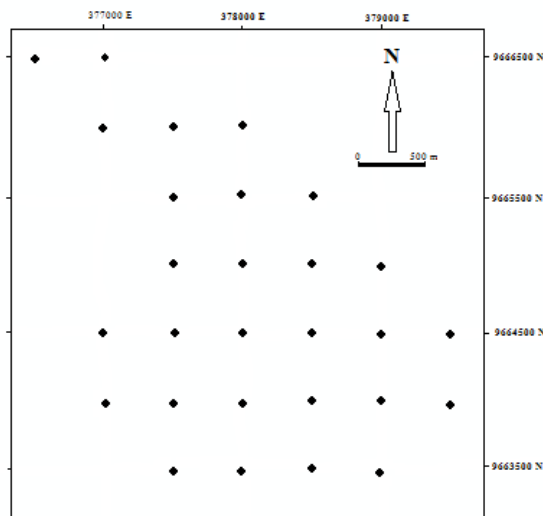
2. METODE PENELITIAN

2.1 Daerah Penelitian dan Data

Daerah penelitian terletak di Blok "S" kabupaten Konawe, Sulawesi Tenggara, Indonesia (Gambar.1) dengan luas $\pm 9 \text{ km}^2$. Pemboran dilakukan dengan pola grid dengan jarak antara satu titik lubang bor yang satu dengan titik lubang bor lainnya sejauh 500m (Gambar 2). Total jumlah lubang bor 28 titik dengan ketebalan zona limonit mulai dari 1,5m sampai 30,40m dan zona saprolite mulai dari 0,6m sampai 64,2m. Untuk analisa geokimia kadar Ni dilakukan pada setiap lubang bor dengan sampel yang diambil dari inti bor dengan interval 1m.



Gambar 1 : Lokasi daerah penelitian



Gambar 2 : Sebaran lokasi titik bor di daerah penelitian

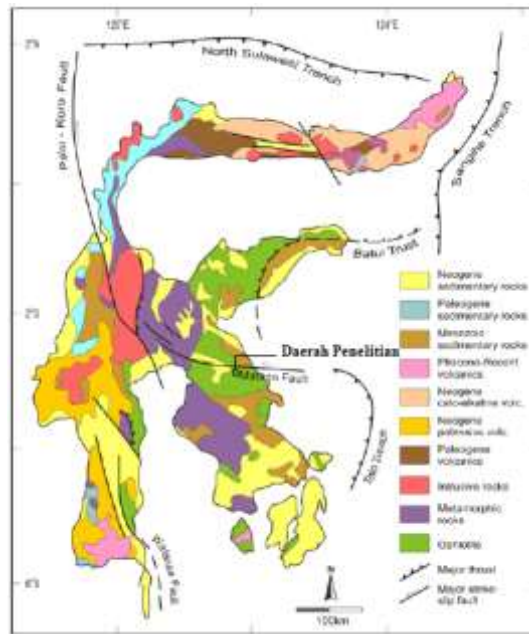
2.2 Geologi Daerah Penelitian

Menurut [11] daerah penelitian terletak di bagian lengan tenggara pulau Sulawesi yang ditempati kelompok batuan ofiolit dengan struktur utama berarah barat laut – tenggara (Gambar 3) Menurut [9] daerah penelitian dan sekitarnya ditempati kelompok batuan ofiolit yang terdiri dari peridotit dan dunit. Kedua jenis batuan ini dikenal sebagai sumber dari pembentukan endapan residu laterit nikel.

2.3 Metode

Penelitian ini dilakukan berdasarkan pada data sekunder hasil dari pemboran pada tahap prospeksi. Pemboran dilakukan dengan pola grid berjarak 500m antara satu titik lubang bor yang satu dengan titik lubang bor lainnya. Secara garis besar metode penelitian ini meliputi:

1. Pengumpulan data dasar terdiri dari data koordinat X,Y (*Easting, Northing*), kadar Ni dan kedalaman lubang bor pada zona limonit dan saprolit.
2. Pengolahan basis data komposit pada setiap lubang bor.
3. Estimasi kadar Ni dan ketebalan lapisan limonit dan saprolite menggunakan metode interpolasi OK.
4. Melakukan validasi silang (*cross validation*) untuk menentukan metode OK dengan model variogram terbaik.
5. Evaluasi hasil interpolasi berdasarkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE), dimana hasil intepolasi dengan nilai RMSE terendah adalah yang terbaik.
6. Pemodelan distribusi bijih limonit / saprolit dan penaksiran sumberdaya nikel menggunakan hasil penaksiran kadar Ni dan ketebalan dengan metode OK dengan model variogram terbaik.
7. Tabulasi sumberdaya nikel.



Gambar 3: Peta geologi regional P.Sulawesi (Van Leeuwen, dkk, 2011)

2.4 Metode Interpolasi

2.4.1 Perhitungan Kadar Komposit

Dalam perhitungan secara dua dimensi diperlukan data kadar dalam bentuk nilai komposit. Data komposit dapat digunakan pada perangkat lunak tertentu, seperti ArcGis, untuk selanjutnya ditampilkan dalam bentuk peta. Data yang digunakan dalam perangkat lunak aplikasi ArcGis terdiri dari tiga variabel yaitu: koordinat X, Y dan kadar atau variabel yang lain. Persamaan untuk menghitung kadar komposit adalah sebagai berikut:

$$\bar{g} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot g_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (1)$$

Keterangan:

- \bar{g} : Nilai komposit
- t_i : Ketebalan (m)
- g_i : Kadar sampel pada interval-i

2.4.2 Metode *Ordinary Kriging* (OK)

Kriging adalah teknik penaksiran spasial yang memberikan nilai taksiran tidak bias dengan rata-rata kesalahan yang minimum. Teknik penaksiran *kriging* tidak hanya menghasilkan nilai taksiran *kriging estimate* tetapi juga memberikan nilai variansi *kriging* sebagai ukuran keandalan (*reliability*) atau nilai ketidakpastian (*uncertainty*) yang merupakan indikasi seberapa baik suatu hasil taksiran.

Perangkat dasar dalam penaksiran *kriging* adalah variogram yang digunakan untuk mengkuantifikasi korelasi spasial antar contoh. Variogram merupakan suatu fungsi vektor yang dapat mengkuantifikasikan tingkat kemiripan antara dua contoh yang terpisah oleh jarak h . Variogram eksperimental didefinisikan sebagai setengah rerata penjumlahan selisih kuadrat pasangan data yang di nyatakan dengan persamaan berikut (Isaak dan Srivastava., 1989):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_{i+h})]^2 \quad (2)$$

Keterangan:

- $\gamma(h)$: Fungsi variogram
- $n(h)$: Jumlah pasangan data
- $Z(x_i + h)$: Nilai kadar pada lokasi $(x_i + h)$
- $Z(x_i)$: Nilai kadar pada lokasi x_i

h : Merupakan suatu vektor yang menyatakan jarak antara dua titik sesuai dengan nilai lag untuk perhitungan variogram eksperimental.

Hubungan antara variogram eksperimental dan variogram model adalah merupakan parameter kecocokan. Langkah yang dilakukan untuk mendapatkan hubungan antara variogram eksperimental dan variogram model sehingga diperoleh nilai parameter kecocokan adalah dengan cara *fitting* (pencocokan) variogram. Proses pencocokan ini disebut dengan analisis struktural (*structural analysis*). Selain itu analisis struktural juga dapat ditentukan berdasarkan perbandingan nilai *root mean square error (RMSE)*, dengan model variogram terbaik ditentukan berdasarkan nilai RMSE terkecil [7], [10]. Analisis struktural ini dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter variogram yang terdiri dari *nugget effect* (C_0), *sill* dan *range* (a) yang selanjutnya digunakan sebagai parameter dalam penaksiran metode geostatistik.

Terdapat tiga model variogram teoritis yang secara luas digunakan dalam analisis struktural yaitu: *spherical*, *exponential* dan *gaussian* [7].

a) Model variogram *spherical* didefinisikan dengan persamaan berikut:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C \left[\left(\frac{3h}{2a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] + C_0, & \text{untuk } h < a \\ C + C_0, & \text{untuk } h \geq a \end{cases} \quad (3)$$

b) Model *exponential* dinyatakan sebagai persamaan berikut:

$$\gamma(h) = C \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right] + C_0 \quad (4)$$

c) Model *gaussian* merupakan bentuk kuadrat dari *exponential* sehingga menghasilkan bentuk parabolik pada jarak yang dekat. Model *gaussian* di rumuskan sebagai persamaan berikut:

$$\gamma(h) = C \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right)^2 \right] + C_0 \quad (5)$$

Keterangan:

C_0 : *Nugget effect*, C : *Partial sill*, $C_0 + C$: *Sill*

Ordinary kriging (OK) dikembangkan oleh Matheron pada tahun 1963 dalam penaksiran rata rata kadar suatu blok dengan menggunakan pembobotan data sampel disekitarnya berdasarkan semivariogram (Daya, 2015). Dalam pendekatan matematik, misalkan z merupakan suatu variabel yang kadar sebenarnya tidak diketahui kemudian didefinisikan $z(x_1), \dots, z(x_n)$ sebagai nilai data pada lokasi x_1, \dots, x_n dalam 1, 2, 3 dimensi. Secara sederhana dapat ditulis z_1, \dots, z_n . Lokasi yang tidak ada contoh x_0 mempunyai volume v .

Penaksir OK, $\hat{Z}(x_0)$ atau disederhanakan menjadi \hat{Z} yang merupakan kombinasi linier data didefinisikan sebagai:

$$\hat{Z} = \sum_{i=1}^n w_i z_i \quad i=1, \dots, n \quad (6)$$

Untuk mempertimbangkan kondisi tak bias, jumlah faktor pembobot w_i dibuat sedemikian rupa sehingga sama dengan satu, $\sum_{i=1}^n w_i = 1$. Dengan demikian taksiran ini tidak bias, artinya harga yang diharapkan untuk perbedaan antara Z dengan \hat{Z} sama dengan nol, $E[Z - \hat{Z}] = 0$. Dengan memperhatikan faktor-faktor pembobotan akan didapat suatu varians estimasi. Untuk memilih faktor-faktor pembobotan yang optimal, dibuat sedemikian rupa sehingga variansi perkiraan ini minimum. Persyaratan bahwa jumlah w_i adalah satu, dapat didekati dengan metode pengali Lagrange μ .

Peminimalan variansi dalam sistem persamaan linier disebut sistem OK, yaitu:

$$\sum_i w_i \cdot c_{ij} + \mu = c_{i.0} \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (8)$$

Keterangan:

$c(i, j)$: Kovariansi antara contoh dengan contoh

$c(i, 0)$: Kovariansi antara contoh dan blok

μ : Pengali Lagrange

2.4.3 Pemilihan Model Variogram

Pemilihan model variogram teoritis, yang akan digunakan dalam proses interpolasi OK, dilakukan pada model variogram *spherical*, *exponential* dan *gaussian*. Hasil kinerja dari ketiga model variogram tersebut kemudian dievaluasi dengan nilai RMSE yang perhitungannya didasarkan pada nilai error pada setiap titik sampel dari suatu set data. Model variogram terbaik dipilih berdasarkan nilai RMSE terkecil [10].

RMSE dihitung dengan persamaan berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Z}(x_i) - Z(x_i))^2} \quad (9)$$

Keterangan:

$\hat{Z}(x_i)$: Nilai estimasi

$Z(x_i)$: Nilai pengukuran

n : Jumlah prediksi

2.4.4 Evaluasi Hasil Interpolasi

Untuk menilai hasil prediksi dilakukan dengan cara menguji perbedaan antara hasil penaksiran dengan data yang diketahui, menggunakan parameter Root Mean Square Standardized Prediction Error (RMSP). Nilai prediksi akan akurat jika nilai RMSP sama dengan 1. Jika nilai RMSP lebih besar dari 1 menunjukkan bahwa nilai hasil estimasi *underestimated* dan sebaliknya [8].

RMSP dihitung dengan persamaan berikut

$$RMSP = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{ME}{\theta^2(x_i)} \right)^2} \quad (10)$$

Dimana,

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)] \quad (11)$$

Keterangan:

ME = Mean error

$\theta^2(x_i)$: Variansi kriging pada lokasi x_i

$\hat{Z}(x_i)$: Nilai estimasi

$Z(x_i)$: Nilai pengukuran

n : Jumlah prediksi

2.4.5 Penaksiran Sumberdaya

Pada penelitian ini perhitungan sumberdaya dilakukan dengan menggunakan metode poligon-*extended area*. Pada metode ini semua faktor ditentukan untuk suatu titik tertentu pada endapan mineral, diekstensikan sejauh setengah jarak dari titik disekitarnya yang membentuk suatu daerah pengaruh, termasuk pada lokasi titik-titik bor terluar.

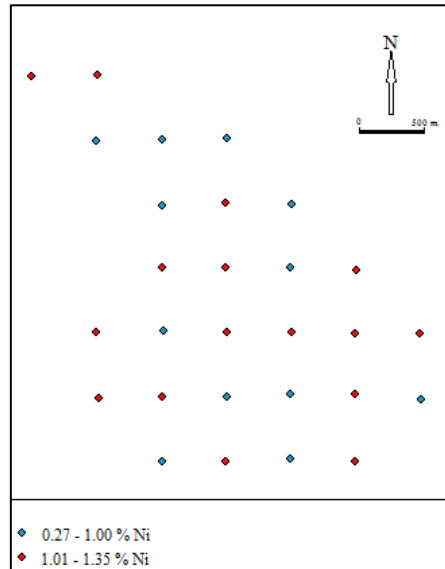
3. HASIL DAN ANALISIS

3.1 Basis Data Assay

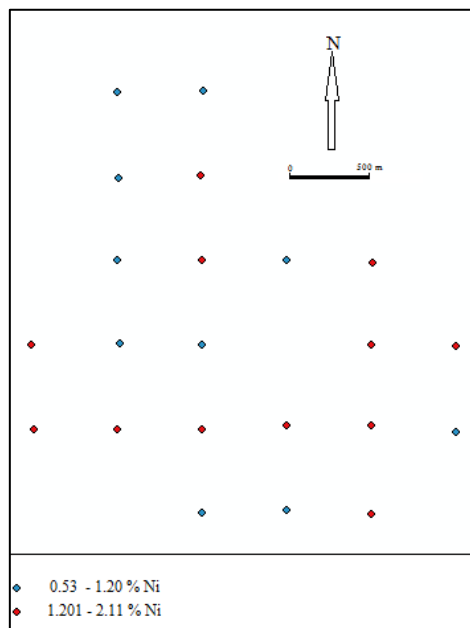
Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan pada zona limonit dan saprolit. Data kadar Ni, Fe dan ketebalan diperoleh dari 28 titik bor. Berdasarkan kadar Fe pada data mentah (*raw data*) dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu zona limonit dengan kadar Fe > 25% dan zona saprolit dengan kadar $10\% \leq Fe \leq 25\%$. Data mentah kadar Ni pada zona limonit dan saprolit dari setiap lubang bor kemudian diolah menjadi data komposit dengan menggunakan persamaan (1). Data komposit pada setiap zona ditabulasikan dalam

spread sheet excel untuk kemudian digunakan sebagai basis data dalam perhitungan secara dua dimensi, dengan menggunakan aplikasi *geostatistical analyst* pada *Arc Giss V.10.2*.

Hasil dari perhitungan data komposit pada zona limonit menunjukkan bahwa terdapat 16 titik bor dengan kadar komposit Ni $>1\%$ dan 12 titik bor dengan kadar komposit Ni $\leq 1\%$ (Gambar 4) Pada zona saprolit diperoleh 12 titik bor dengan kadar komposit Ni $>1,2\%$ dan 10 titik bor dengan kadar komposit Ni $\leq 1,2\%$ (Gambar 5).



Gambar 4: Klasifikasi kadar sampel pada zona limonit



Gambar 5: Klasifikasi kadar sampel pada zona saprolit

3.2 Analisis Statistik

Analisis statistik dilakukan untuk mengetahui karakteristik data yang digunakan. Analisis data dilakukan terhadap kadar Ni dan ketebalan pada zona limonit dan saprolite. Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan hasil analisis statistik kadar komposit Ni dan ketebalan pada zona limonit dan saprolit

Tabel 1 Hasil analisis statistik kadar komposit Ni dan ketebalan zona limonit

Parameter	Ni (%)	Ketebalan (m)
Minimum	0,27	1,50
Maksimum	1,35	30,40
Rata-rata	0,97	11,68
Std Deviasi	0,29	6,65
Skewness	-0,74	0,67
Median	1,04	10,425
CV	0,29	0,57
Jumlah data	28	28

Tabel 2 Hasil analisis statistik kadar komposit Ni dan ketebalan zona saprolit

Parameter	Ni (%)	Ketebalan (m)
Minimum	0,54	0,6
Maksimum	2,10	64,2
Rata-rata	1,28	15,85
Std Deviasi	0,44	19,90
Skewness	0,14	1,54
Median	1,248	5,73
CV	0,34	1,26
Jumlah data	22	22

3.3 Studi Variogram

Studi variogram kadar Ni dan ketebalan dilakukan dengan model geometri *isotropic* pada zona limonit dan saprolite. Analisis variogram dilakukan, dengan menggunakan perangkat *geostatistical analyst* pada *software Arc Giss V 10.2*. Studi variogram eksperimental dilakukan dalam berbagai arah pencarian yaitu arah utara-selatan, timur-barat, barat laut-tenggara dan arah barat daya-timur laut. Sedangkan luas daerah pencarian dinyatakan dengan angle tolerance dan parameter jarak antar conto (lag size). Untuk mendapatkan pasangan data yang baik digunakan jarak lag 500m sesuai dengan jarak antar titik bor.

Fitting model variogram teoritis dilakukan sebagai proses pencocokan antara variogram eksperimental dengan model variogram yang sesuai. Tiga model yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu model spherical, eksponensial dan gaussian. Pemilihan model variogram terbaik dilakukan berdasarkan nilai RMSE terkecil yang diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan persamaan (9). Dari analisis variogram yang telah ditentukan di peroleh parameter nugget, sill dan range, yang akan digunakan pada proses analisis data menggunakan metode OK.. Tabel 3 dan Tabel 4 menyajikan model variogram, nilai parameter, nilai RMSE dan RMSP pada zona limonit dan saprolit.

Berdasarkan nilai RMSE terkecil pada zona limonit diperoleh model variogram terbaik untuk variabel Ni adalah exponential sedangkan ketebalan adalah spherical. Pada zona saprolit variogram terbaik untuk variabel Ni adalah exponential dan ketebalan adalah *gaussian*. Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan model variogram terbaik pada zona limonit. Gambar 8 dan Gambar 9 menunjukkan model variogram terbaik pada zona saprolite.

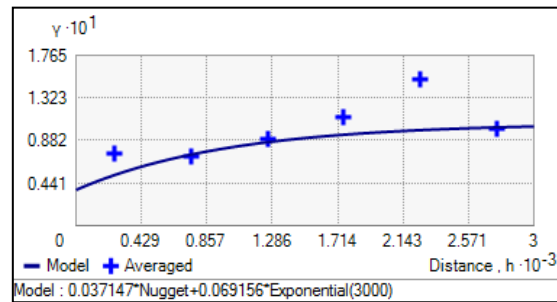
Tabel 3 Model variogram dan nilai parameter pada zona limonit

Variogr	Var	Sph	Exp	Gauss
Nugget	Ni	0,05	0,04	0,06
	Tebal	17,29	10,55	27,87
Sill	Ni	0,11	0,11	0,11
	Tebal	45,48	45,92	45,65
Nugget/Sill (%)	Ni	47	35	53
	Tebal	38	23	61
RMSE	Ni	0,308422	0,307633	0,309503
	Tebal	6,527668	6,660453	6,609201
RMSP	Ni	1,1144	1,1140	1,1093
	Tebal	0,5138	0,5372	0,4860

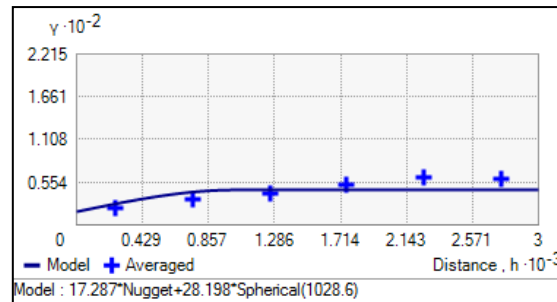
Keterangan: Variogr= variogram, Var = variabel, Sph = spherical, Exp=exponential, Gauss= Gaussian, RMSE= root mean square error, RMSP= root mean square standardized prediction error.

Tabel 4 Model variogram dan nilai parameter pada zona saprolit

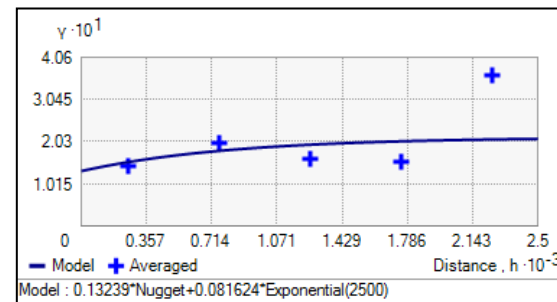
Variogr	Var	Sph	Exp	Gauss
Nugget	Ni	0,15	0,13	0,16
	Tebal	1,11	1,29	1,23
Sill	Ni	0,21	0,21	0,21
	Tebal	1,55	1,61	1,55
Nugget/Sill (%)	Ni	70	62	74
	Tebal	72	79	79
RMSE	Ni	0,450338	0,447543	0,452312
	Tebal	18,00343	18,61513	17,09345
RMSP	Ni	1,0281	1,0177	1,0331
	Tebal	0,5138	0,5372	0,4860



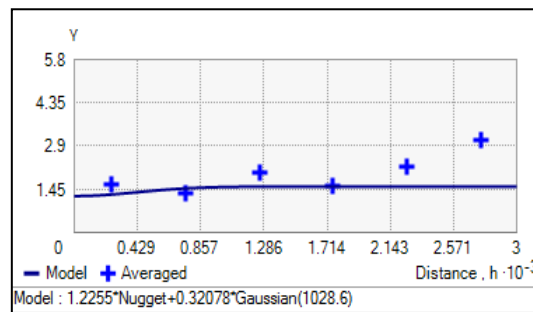
Gambar 6: Model variogram terbaik untuk Ni pada zona limonit



Gambar 7: Model variogram terbaik untuk ketebalan pada zona limonit



Gambar 8: Model variogram terbaik untuk kadar Ni pada zona saprolit



Gambar 9: Model variogram terbaik untuk ketebalan pada zona saprolit

3.4 Penaksiran Dengan Metode OK

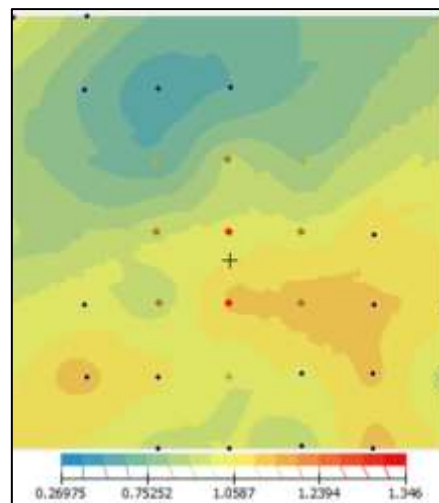
Berdasarkan hasil studi variogram yang telah dilakukan maka parameter penaksiran kadar dan ketebalan dapat ditentukan dengan metode OK. Parameter tersebut terdiri dari: nilai *nugget effect*, *range*, *sill*, jarak dan arah pencarian contoh, jumlah dan distribusi contoh yang tersedia, serta jumlah contoh maksimum dan minimum yang akan digunakan.

Dalam penelitian ini menggunakan jumlah contoh maksimum sebanyak 10 data dan minimum 3 data, sedangkan batas jarak dan arah pencarian (*search area*) ditentukan berdasarkan pada nilai *range* yang diperoleh dari hasil fitting variogram terbaik dari masing masing variabel.

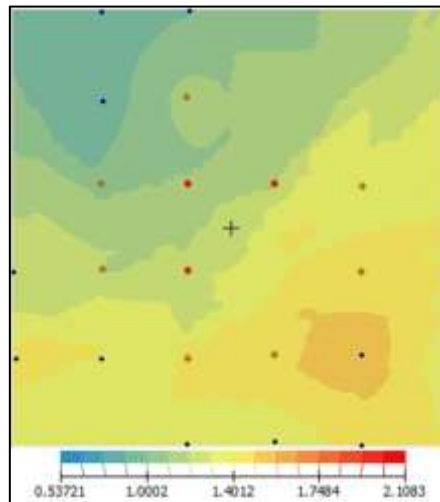
Proses kriging merupakan tahap berikutnya setelah melalui proses studi variogram. Penaksiran kadar Ni, dan ketebalan pada setiap zona dengan proses kriging dua dimensi (2D). Pada proses ini semua nilai data contoh dikoreksi dan diberikan nilai taksiran melalui pembobotan nilai contoh disekitarnya.

Penaksiran OK pada penelitian ini dilakukan dengan metode point kriging. Metode ini merupakan teknik penaksiran yang menaksir nilai suatu titik berdasarkan pada nilai titik-titik contoh disekitarnya, sehingga titik yang ditaksir tersebut akan memiliki satu nilai estimasi dan nilai variansi kriging. Parameter yang digunakan dalam proses penaksiran menggunakan hasil fitting variogram terbaik, yaitu: pada zona limonit menggunakan variogram exponential dan ketebalan menggunakan variogram spherical. Pada zona saprolit proses penaksiran menggunakan variogram exponential untuk Ni dan untuk ketebalan menggunakan variogram gaussian.

Peta hasil penaksiran kadar Ni pada zona limonit disajikan pada Gambar 9, sedangkan pada zona saprolit disajikan pada Gambar 10.



Gambar 9: Peta sebaran kadar Ni pada zona limonit dengan metodel interpolasi OK menggunakan variogram *exponential*.



Gambar 10: Peta sebaran kadar Ni pada zona saprolit dengan metode interpolasi OK menggunakan variogram *exponential*.

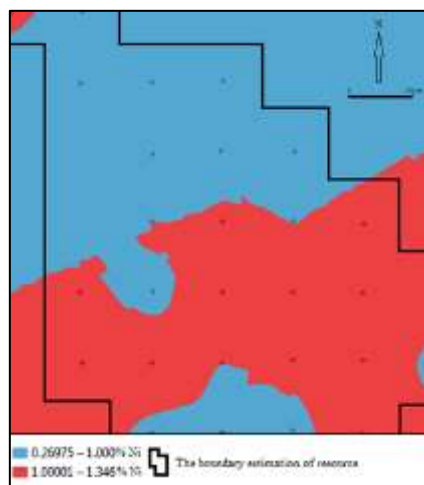
3.5 Distribusi bijih Ni dan Sumberdaya

Distribusi bijih dan non-bijih pada zona limonit dan saprolit dipetakan berdasarkan nilai *cutoff grade*. Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan peta sebaran bijih Ni pada zona limonit dan saprolit.

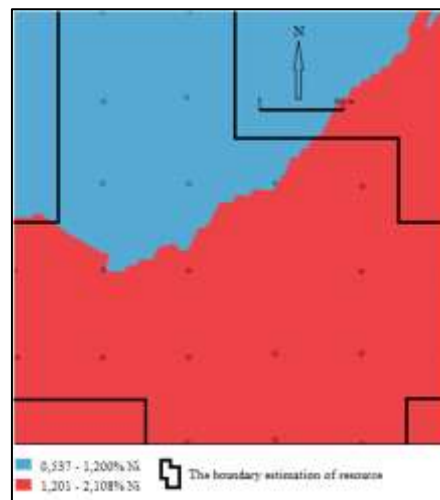
Penaksiran sumberdaya pada penelitian ini menggunakan model dua dimensi dengan metode poligon-extended area, yaitu perhitungan endapan bijih per lubang bor yang mempunyai pengaruh sampai setengah jarak terhadap titik bor lain didekatnya, dengan asumsi setiap titik lubang bor mempunyai kadar dan ketebalan yang konstan dengan kadar dan ketebalan titik bor di dalam poligon tersebut.

Dalam perhitungan sumberdaya nikel data yang digunakan berdasarkan pada nilai kadar Ni > cutoff grade (1% Ni) untuk endapan limonit, dan Ni > 1,2% untuk endapan saprolit, yang terletak di dalam batas perhitungan sumberdaya (outline) yang telah ditentukan. Peta sebaran hasil penaksiran kadar Ni serta batas perhitungan sumberdaya ditunjukkan pada Gambar 11 untuk endapan limonit dan Gambar 12 untuk endapan saprolit.

Jumlah tonase sumberdaya diperoleh dari jumlah seluruh tonase tiap polygon atau blok yang diperoleh dari perkalian antara volume dengan densitas bijih, sedangkan volume diperoleh dari perkalian antara luas blok (500X500) m² dengan ketebalan lapisan limonit atau saprolit pada setiap lubang bor. Dalam penaksiran ini diasumsikan nilai densitas limonit adalah 1,6 ton/m³ dengan nilai cutoff grade 1%Ni, sedangkan densitas saprolit adalah 1.5 ton/m³ dengan nilai cutoff grade 1,2%Ni.



Gambar 11: Peta sebaran kadar Ni dan batas penaksiran sumberdaya pada zona limonit.



Gambar 12: Peta sebaran kadar Ni dan batas penaksiran sumberdaya pada zona saprolit.

Penaksiran sumberdaya dilakukan berdasarkan data kadar Ni dan ketebalan hasil penaksiran dengan menggunakan metode terbaik, yaitu metode OK dengan variogram exponential untuk kadar Ni dan variogram spherical untuk ketebalan pada zona limonit. Pada zona saprolit penaksiran kadar Ni menggunakan metode OK dengan variogram exponential sedangkan ketebalan ditaksir dengan menggunakan OK dengan variogram Gaussian. Hasil penaksiran sumberdaya nikel pada zona limonit dan saprolit disajikan pada Tabel 5

Tabel 5
Hasil penaksiran sumberdaya Ni pada zona limonit dan saprolit

Zona	Bijih (Ton)	Kadar Rerata Ni	Jumlah Logam (Ton)
Limonit	83808000	1.04 %	868623.53
Saprolit	40638285	1.42 %	688972.14

Klasifikasi perbedaan *spatial dependence* (ikatan antar data secara *spatial*) dapat dibedakan berdasarkan nilai rasio antara *nugget* dan *sill*. Untuk nilai rasio <25% menunjukkan *spatial dependence* yang kuat, nilai rasio 25 - 75% menunjukkan *spatial dependence* moderat dan nilai rasio >75% *spatial dependence* yang lemah (Cambardella et al., 1994). Pada penelitian ini hasil *fitting* variogram terbaik pada variabel Ni dan ketebalan pada zona limonit dan saprolit menunjukkan nilai rasio *nugget* terhadap *sill* adalah 35 - 38% pada zona limonit dan 62 - 79% pada zona saprolit (Tabel 4) yang dapat diklasifikasikan dalam *spatial dependence* medium pada zona limonit dan lemah pada zona saprolit. Hal ini menunjukkan bahwa hasil analisis variogram pada penelitian ini kurang baik yang disebabkan karena jumlah data yang tidak mencukupi untuk dapat membentuk variogram yang baik/ ideal. Menurut Robinson et al (2006), diperlukan paling sedikit 100 sampai 150 data untuk dapat mencapai bentuk variogram yang stabil / ideal.

Evaluasi kinerja variogram pada zona limonit berdasarkan nilai RMSE terkecil menunjukkan bahwa model variogram exponential adalah yang terbaik untuk kadar Ni dan spherical untuk ketebalan. Sedangkan pada zona saprolit diperoleh model variogram terbaik untuk Ni adalah exponential dan model gaussian untuk ketebalan. Berdasarkan nilai RMSP kadar Ni pada zona limonit dan saprolit mempunyai nilai > 1 (pada zona limonit = 1,11 dan pada zona saprolit = 1,02). Ini menunjukkan bahwa hasil taksiran kadar Ni pada zona limonit dan saprolit kurang akurat dengan nilai estimasi underestimated. Sebaliknya nilai RMSP pada ketebalan menunjukkan nilai lebih kecil dari 1 pada kedua zona limonit dan saprolit (zona limonit = 0,51 dan pada zona saprolit = 0,49), ini menunjukkan bahwa hasil taksiran ketebalan pada kedua zona kurang akurat dengan nilai overestimated (Robinson dan Metternicht, 2006).

Hasil interpolasi nikel pada zona limonit dengan menggunakan OK-exponential menunjukkan bahwa area dengan warna merah adalah sebaran bijih dengan kadar Ni >1%, sedangkan warna biru menunjukkan sebaran limonit dengan kadar ≤1% [Gambar.11]. Jika diasumsikan nilai *cutoff grade* adalah 1%Ni, maka area dengan warna merah merupakan sebaran bijih Ni secara lateral pada zona limonit. Peta ini juga menunjukkan

bahwa sebagian besar anomali Ni terletak pada bagian tengah sampai bagian selatan daerah penelitian dengan pola arah sebaran baratdaya-timurlaut. Berdasarkan peta sebaran bijih Ni tersebut maka eksplorasi yang lebih detail dengan target bijih limonit dapat fokuskan pada area dengan warna merah pada peta dan dapat di perluas kearah timur laut dan baratdaya daerah penelitian.

Pada zona saprolit estimasi kadar Ni menggunakan metode interpolasi OK-exponential menunjukkan bahwa bijih Ni dengan kadar $>1,2\%$ menempati sebagian besar daerah penelitian dengan pola sebaran baratdaya – timurlaut (Gambar. 12). Dari pola sebaran bijih nikel tersebut maka tahap eksplorasi selanjutnya dilakukan lebih detail dengan target utama daerah yang berwarna merah pada peta, dan untuk memperluas daerah sebaran bijih bisa dilakukan perluasan daerah pemboran eksplorasi kearah timur dan baratlaut daerah penelitian.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan parameter statistik RMSE interpolasi kadar Ni pada zona limonit dan saprolit diperoleh bahwa teknik interpolasi OK dengan variogram exponential menghasilkan performa terbaik, sedangkan pada variabel ketebalan penggunaan variogram spherical pada zona limonit dan gaussian pada zona saprolit menunjukkan performa terbaik.

Hasil interpolasi menunjukkan sebaran bijih limonit dengan kadar $>1\%$ Ni masih terbuka kearah timur dan barat daya daerah penelitian, sedangkan bijih saprolit masih terbuka kearah timur, selatan dan barat. Jika diasumsikan cut-off grade bijih limonit adalah 1% Ni dengan densitas $1,6 \text{ ton/m}^3$ dan saprolit adalah $1,2\%$ Ni dan densitas saprolit $1,5 \text{ ton/m}^3$, maka estimasi sumberdaya pada zona limonit adalah $\pm 83,8$ juta ton bijih dengan kadar rata-rata $1,04\%$ Ni atau setara dengan $\pm 868,6$ ribu ton logam nikel sedangkan pada zona saprolit $\pm 40,62$ juta ton bijih dengan kadar rata-rata $1,42\%$ Ni atau setara dengan $\pm 688,9$ ribu ton logam nikel. Berdasarkan parameter RMSP hasil interpolasi kadar Ni pada kedua zona limonit dan saprolit menunjukkan hasil taksiran yang kurang akurat dengan nilai estimasi *underestimated*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Ketua Jurusan Teknik Pertambangan STTNAS yang telah memberi kesempatan dan dukungan dalam penulisan makalah ini, serta kepada Panitia RETII Th 2018 STTNAS yang telah mempublikasikannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Brand, N.W., Butt, C.R.M., Elias, M., 1998, Nickel Laterite: Classification Features, AGSO Journal of Australia Geology & Geophysics.
- [2] Cambardella, C.A., T.B. Moorman., J.M. Novak., T.B. ParkinD.L. Karlen., R.F. Turco., A.E. Konopka., 1994, Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 58(2).
- [3] Daya, A.A., 2015, Ordinary Kriging for the Estimation Of Vein Type Copper Deposit: A Case Study Of The Chelkureh Iran, Journal of Mining and Metallurgy, 51A (1).
- [4] Elias, M., 2002, Nickel laterite deposit a geological overview, resources and exploration. Centre for Ore Deposit Research, University of Tasmania, Hobart, Special Publication 4.
- [5] Isaaks, E.H. and R.M Srivastava., 1989, Applied geostatistics, Oxford University Press, New York.
- [6] Oliver, M.A and Webster, R., 2014, A tutorial guide to geostatistics: Computing and modeling variograms and kriging, Catena 113.
- [7] Robinson, T.P., G. Metternicht., 2006, Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties, Computer and Electronics in Agriculture 50.
- [8] Simanjuntak, T.O., Rusmana, E., Supandjono, J.B., 1993, Peta Geologi Lembar Bungku. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- [9] Suryani, S.P., Sibaroni, Y., Heriawan, M.N., 2016, Spatial Analysis 3D Geology Nickel Using Ordinary Kriging Method, Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering) 78:5.
- [10] Van Leeuwen, T.M and P.E. Peters., 2011, Minerals Deposits of Sulawesi, Proceeding of The
- [11] Sulawesi Minerals Resources Seminar MGEI-IAGI.