

**PEMODELAN DAN ESTIMASI SUMBERDAYA NIKEL LATERIT SITE PULAU PAKAL PT. ANTAM (PERSERO) TBK UBP NICKEL MALUKU UTARA MENGGUNAKAN METODE *INVERSE DISTANCE WEIGHT* DAN *ORDINARY KRIGING***

**Wawan AK Conoras, Mardiman Tabaika**

*Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Maluku Utara Ternate*

*Email: [wawanmine01@gmail.com](mailto:wawanmine01@gmail.com)*

**ABSTRAK**

Pemodelan dan estimasi Sumberdaya nikel laterit bertujuan untuk mengetahui penyebaran sumberdaya yang ditampilkan dalam bentuk blok model serta mengetahui hasil estimasi nikel laterit yang akurat dan komersial dari suatu endapan. Hasil pemodelan dan estimasi sumberdaya mempresentasikan bentuk dan penyebaran dari endapan mineral sehingga memudahkan dalam melakukan penambangan serta dapat memperkirakan batas-batas penambangan berdasarkan hasil pemodelan dan estimasi sumberdaya. Data yang digunakan dalam pemodelan dan estimasi sumberdaya nikel laterit terdiri dari data bor hasil eksplorasi, koordinat bor, dan klasifikasi kadar eksplorasi. Metoda Pengolahan dan analisa data menggunakan pemodelan dan Metode estimasi sumberdaya nikel laterit menggunakan pendekatan metode Inverse Distance Weight (IDW) dan Ordinary kriging dengan ukuran grid terbesar 25 M<sup>3</sup> dan model ukuran blok 25 M x 25 M tebal blok 3 M dan ukuran blok terkecil 12,5 M x 12, 5 M tebal block terkecil 1.5. Hasil estimasi Sumberdaya Ni metode Inverse Distance Weight (IDW) dengan total tonase sebesar 1,221,090 ton kadar Ni 1.96, kadar Fe 15.91, dan Total hasil estimasi metode Ordinary kriging 1,604,063 dengan kadar Ni 1.52 dan kadar Fe 20.01 ton. Berdasarkan hasil estimasi, dilakukan perbandingan kedua metode terhadap data bor eksplorasi (data Komposit kadar Ni). Dari grafik hasil perbandingan terlihat pola grafik kadar kadar Ni yang lebih cenderung mengikuti pola grafik kadar data bor eksplorasi/ data komposit Ni adalah pola grafik data dari metode Ordinary kriging dibandingkan pada metode Inverse Distance Weight.

**Kata Kunci:** Nikel Laterit, Pemodelan, Estimasi Sumberdaya, kadar, tonase

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Industri pertambangan merupakan industri yang padat modal, padat teknologi, padat sumberdaya serta mengandung resiko yang sangat tinggi, sehingga dibutuhkan konsentrasi dalam kedisiplinan ilmu yang memadai agar dapat bekerja dengan efektif sehingga mendapatkan hasil yang maksimal dan menguntungkan.

PT. ANTAM (Persero) Tbk UBPN Maluku Utara merupakan salah satu perusahaan negara yang menjalankan usaha dibidang pertambangan, khususnya bahan galian nikel laterit di Halmahera Timur. Metode penambangan yang digunakan adalah metode penambangan *open pit mining*.

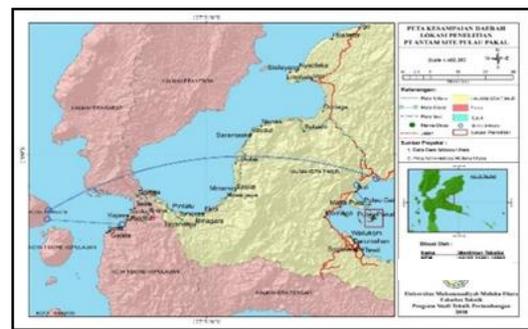
Sebelum menjalankan kegiatan lebih lanjut dalam kegiatan penambangan, maka terlebih dahulu dilakukan eksplorasi untuk mengetahui bentuk, penyebaran, letak, posisi, kadar/kualitas, jumlah endapan, serta geologi. Dalam melakukan eksplorasi untuk mendapatkan data yang lebih akurat dengan tingkat keyakinan geologi yang tinggi maka dilakukan eksplorasi detail, pengambilan *sampling* pada eksplorasi detail dengan jarak yang lebih rapat sehingga dalam tahapan pemodelan dan estimasi sumberdaya mendapatkan hasil yang maksimal dengan bentuk pemodelan sumberdaya yang lebih homogen dan teratur.

Metode *Inverse Distance Weight* dan *Ordinary kriging* merupakan metode estimasi atau metoda penaksiran sumberdaya yang

diterapkan pada penelitian ini. Pemodelan dan metoda estimasi sumberdaya mineral yang dilakukan pada penelitian ini, diharapkan dapat memberikan gambaran tingkat akurasi kualitas dan kuantitas kadar rata-rata Ni dan Fe serta tonase dari masing-masing kedua metoda estimasi. Selain itu, hasil pemodelan dan estimasi sumberdaya dari kedua metoda estimasi tersebut, diharapkan salah satunya dapat menjadi alternatif metoda estimasi yang akurat dalam mengestimasi sumberdaya nikel laterit pada daerah penelitian, sehingga lebih memudahkan dalam melakukan penambangan serta dapat memperkirakan batas-batas penambangan berdasarkan hasil pemodelan dan estimasi sumberdaya.

### 1.2 Lokasi Dan Kesampaian Daerah

Letak geografi wilayah penambangan bijih nikel *Site* Pulau Pakal terletak antara 128°19'16.26" - 128°21'14.66" Bujur Timur dan 0°46'19.69" - 0°48'16.56" Lintang Utara sekitar 10 Km dari dermaga Buli ke site pulau pakal (Gambar 1).



Gambar 1 Peta Kesampaian Daerah

## II. METODOLOGI

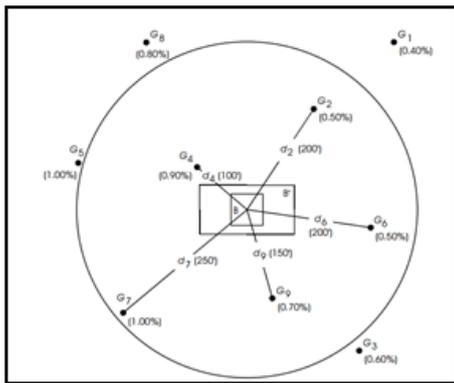
Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini dengan menggunakan pendekatan metoda estimasi *Inverse Distance Weight* (IDW) dan metoda Geostatistik *Ordinary kriging* untuk melihat tingkat akurasi dari penerapan kedua metoda tersebut dalam mengestimasi endapan nikel laterit di daerah penelitian.

**2.1. Metode *Inverse Distance Weight* (IDW)** adalah salah satu dari metode penaksiran dengan pendekatan block model yang sederhana dengan mempertimbangkan titik di sekitar.

$$w_j = \frac{1}{d_j^n} \Big/ \sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^n}$$

Dimana :

- $z$  = nilai parameter yang ditaksir
- $w_i$  = pembobotan titik data
- $z_i$  = nilai parameter titik data



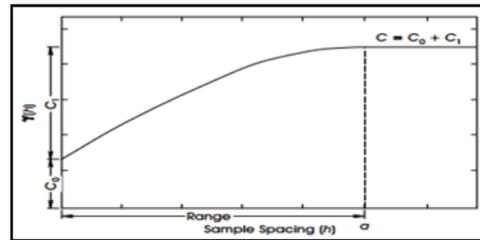
Gambar 2. Contoh Penaksiran Metode IDW

### 2.2 Metode Geostatistik

Metoda Geostatistik adalah suatu metoda yang digunakan untuk menaksirkan besarnya nilai karakteristik pada titik lokasi yang tidak tersampel berdasarkan data titik tersampel disekitarnya, dengan mempertimbangkan korelasi spasial yang ada dalam data tersebut. Penggunaan

metoda kriging dilakukan dalam dua tahap yaitu, pertama menghitung variogram atau semivariogram dan fungsi covarian dan tahap kedua melakukan penaksiran lokasi yang tidak tersampel. Dalam Pemodelan estimasi dengan metoda *Ordinary kriging* pada penelitian ini menggunakan variogram model tipe *spherical* dengan persamaan dibawah ini serta gambar 3.

$$\begin{aligned} \gamma(\mathbf{h}) &= C_0 + C \left[ \frac{3|\mathbf{h}|}{2a} - \left( \frac{|\mathbf{h}|^3}{2a^3} \right) \right] \text{ for } \mathbf{h} < a \\ &= C_0 + C \text{ for } \mathbf{h} \geq a \\ &= 0 \text{ for } \mathbf{h} = 0 \end{aligned}$$



Gambar 3. Komponen Variogram Model *Spherical*

### 2.3. Estimasi Block Metode *Ordinary Kriging*

*Ordinary kriging* adalah metode paling sederhana yang terdapat pada geostatistik. Pada metode ini diasumsikan bahwa rata-rata (mean) tidak diketahui dan bernilai konstan. Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pengolahan data dengan metode *ordinary kriging* antara lain:

1. Mencari nilai rata-rata di seluruh block. Bila harga taksiran suatu kadar  $Z$  dari suatu volume Blok adalah  $\hat{Z}_{(V)}^*$  maka taksiran kadar dapat dihitung melalui pembobotan kadar-kadar contoh  $\hat{Z}(x_i)$ .

$$z(V)^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot z(x_i) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

- Mempertimbangkan kondisi tak bias dengan menentukan jumlah faktor pembobotan sama dengan satu.

$$\sum_i^n \lambda_i = 1$$

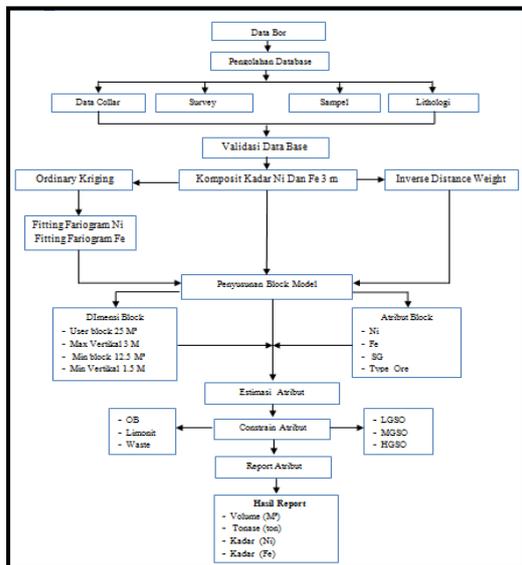
Dimana :

- $\hat{Z}(V)$  : Nilai estimasi pada Blok
- $\lambda_i$  : Faktor pembobot
- $\hat{Z}_{xi}$  : nilai kadar pada sampel titik bor

## 2.4 Alur Pemodelan dan Estimasi Sumberdaya Metode IDW Dan OK

Metode Estimasi IDW dan OK terdapat perbedaan estimasi, dimana IDW tidak mengunaan Fitting Variogram model Sebelum melakukan estimasi, Sedangkan OK Menggunakan Fitting Variogram Sebelum Estimasi. Adapun bagan alur tahapan estimasi dari kedua metoda

tersebut, dapat dilihat pada Gambar 4.

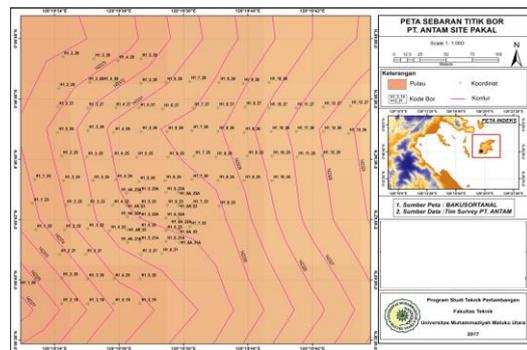


Gambar 4. Bagan Alur Estimasi Metode IDW dan OK

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Hasil Penelitian

Lokasi penelitian berada tepat pada *Front Best Blok 2 Site Pulau Pakal*. Bijih nikel laterit yang terdapat pada lokasi penelitian terdiri dari beberapa lapisan material atau zona material seperti lapisan tanah penutup, lapisan limonit, lapisan saprolit, dan yang terakhir adalah waste *bedrock*.



Gambar 5. Peta Sebaran Titik Bor

### 3.1.1 Tahapan Penyusunan Database Ni dan Fe

Dalam Tahapan estimasi sumberdaya dengan *block model* menggunakan metode estimasi *Inverse Distance Weight* dan *Ordinary Kriging*, terdapat beragam tahapan dalam melakukan penyusunan *database*. Data log bor eksplorasi sebagai data awal dalam tahapan penyusunan *database*, sehingga perhitungan cadangan pun dapat dilakukan berdasarkan data awal, sehingga sesuai dengan hasil yang diharapkan untuk melakukan proses penambangan. Tahapan penyusunan *database* dengan kedua metode ini tidak memiliki perbedaan perilaku penyusunan *database* akan tetapi perbedaan diantara kedua

metode ini adalah pada tahapan estimasi dimana pada proses estimasi kedua metode disesuaikan dengan parameter dan cara estimasi yang disesuaikan dengan penggunaan rumus kedua metode. Adapun terdapat beberapa tahapan dalam penyusunan *database* seperti data *collar*, data *survey*, data *sample* dan data *lithologi* yang dilakukan menggunakan data eksplorasi hasil dari data bor.

### 3.1.2 Block Model (Permodelan)

Dalam mengestimasi data terlebih dahulu dilakukan pembuatan *block model* dimana pembuatan *block model* ini bertujuan agar data yang telah di taksir dengan ketetapan titik bor dapat di estimasikan dengan membuat *block-block* kecil yang telah ditetapkan ukurannya dari perusahaan dengan tujuan untuk memperlihatkan kandungan dari pada suatu logam seperti Ni, Fe dan lain-lain. Permodelan blok yang di buat, disesuaikan dengan spasi titik bor 25 m sehingga ukuran *block model* akan sesuai dengan spasi titik bor, selain itu pembuatan *block model* disesuaikan dengan perencanaan penambangan dan metode penambangan yang digunakan Perusahaan serta disesuaikan dengan penyebaran endapan bahan galian. Untuk Ukuran *block User Block Size* maximum *block* panjang 25 meter, lebar *block* 25 meter, dan tebal *block* 3 meter, sedangkan *Sub Block Size* minimum dengan ukuran panjang *block* 12.5 meter, lebar *block* 12.5 meter, dan tebal *block* 1.5 meter.

### 3.1.3 Fitting Variogram metode OK

*Fitting variogram* adalah syarat utama dalam metode *ordinary kriging* yang dilakukan sebelum estimasi sumberdaya dilakukan, dengan tujuan hasil dari fitting variogram dijadikan sebagai data estimasi agar tidak terjadi kesalahan dalam mengestimasi sumberdaya. Fiting variogram dilakukan sebanyak dua kali berdasarkan data sampel bor yaitu fitting variogram untuk kadar Ni dan kadar Fe dengan hasil fitting variogram dapat dilihat pada tabel dibawah ini. Tabel 2.

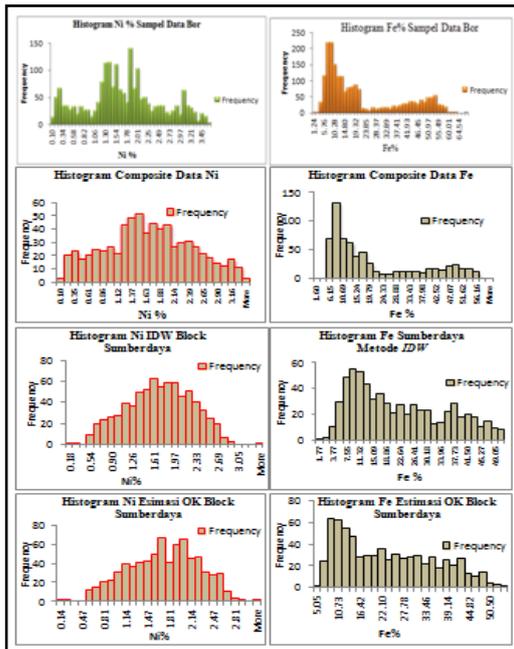
**Tabel 2** hasil fitting variogram ni dan fe OK

Fitting Variogram	Ni	Fe
Lag	0.01	0.1
Nugget	0.067	0.106
Sill	1.27	0.97
Range	9.49	9.19

Analisa deskripsi statistik dan histogram yang dilakukan, menunjukkan bahwa nilai mean kadar Ni dari kedua metoda estimasi cenderung sama (1.66%) dan mendekati nilai mean Ni dari data komposit bor eksplorasi 1.62%. sedangkan pada nilai mean Fe dari data hasil estimasi *ordinariy kriging* terlihat lebih besar dari nilai mean komposit Fe dan nilai mean Fe IDW. Tabel 1.

**Tabel 1** Statistik data sampel bor, komposit data bor , sumberdaya idw, dan sumberdaya kriging

Statistik Sumberdaya	Count	Min	Mean	Max	Stand. Deviation	Samp. Variance	Confidance Level (95%)	
Data Bor	Ni	1992	0.1	1.66	3.61	0.85	0.71	0.04
	Fe	1992	1.24	21.42	67.55	16.81	282	0.74
Komposit	Ni	690	0.1	1.62	3.41	0.78	0.61	0.06
	Fe	690	1.6	20.7	60.71	16.04	257	1.2
Idw	Ni	740	0.18	1.66	3.41	0.55	0.3	0.04
	Fe	740	1.77	18.69	50.93	14.04	197	1.01
Kriging	Ni	740	0.14	1.66	3.14	0.53	0.28	0.04
	Fe	740	5.05	22.79	54.29	12.34	152.24	0.91

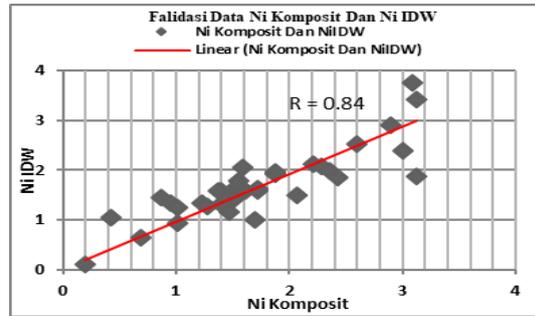


Gambar 6. Histogram data sampel bor, komposit data bor, sumberdaya IDW, dan sumberdaya kriging

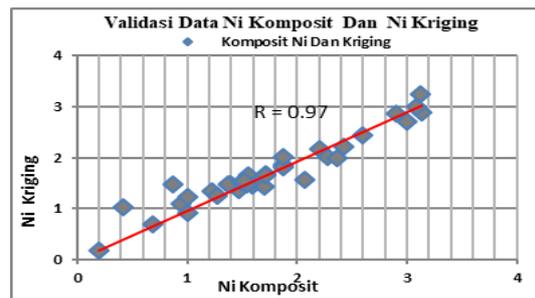
### 3.1.5 Analisis Validasi Data

Analisis yang dilakukan menggunakan diagram pencar dengan sampel data sebanyak 36 data. Validasi data yang dilakukan adalah Validasi data Ni komposit bor eksplorasi dengan data Ni *block* hasil estimasi IDW, Validasi data Ni komposit bor eksplorasi dengan data Ni *block* hasil estimasi OK, dan Validasi data Ni *block* hasil estimasi IDW dengan Ni *block* hasil estimasi OK. Hasil analisis menunjukkan bahwa Validasi data yang akurat atau memiliki distribusi data yang normal adalah hasil estimasi OK dengan komposit data bor. Sedangkan hasil validasi Menggunakan Metode IDW dengan komposit data bor memiliki pola sebaran yang kurang baik. Hal ini dapat dilihat berdasarkan Nilai (R) apabila nilai R sama dengan satu (1)

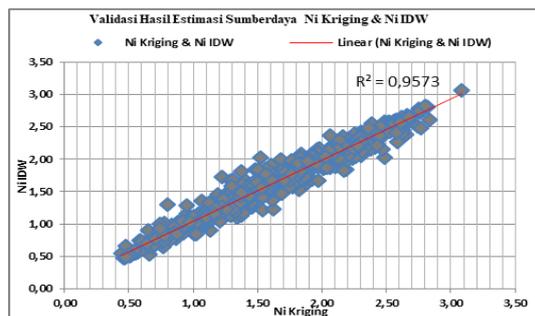
atau Mendekati satu (1) maka data tersebut dikategorikan data dengan distribusi normal/falid atau memiliki korelasi positif. Tingkat korelasi data hasil esitimasi terhadap data komposit bor dapat dilihat pada Gambar 7, Gambar 8 dan 9 dibawah ini.



Gambar 7. Grafik Validasi Data Ni Komposit Dengan Data Ni IDW



Gambar 8. Grafik Validasi Data Ni Komposit Dengan Data Ni OK

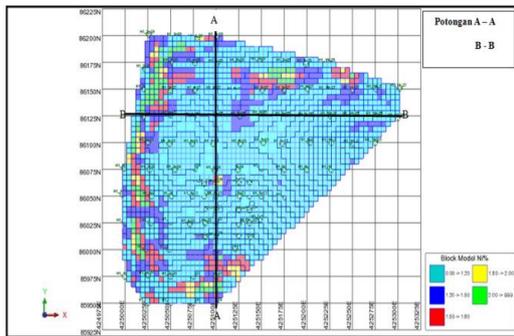


Gambar 9. Grafik Validasi Data Ni IDW Dengan Data Ni Ordinary Kriging

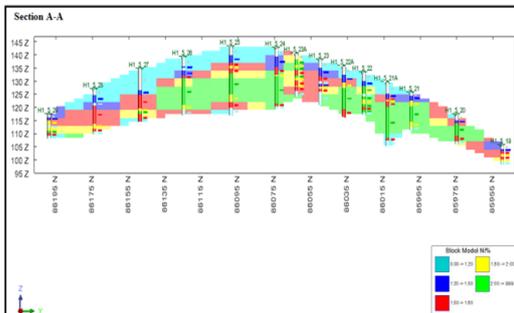
### 3.2. Pembahasan

### 3.2.1 Block Modeling

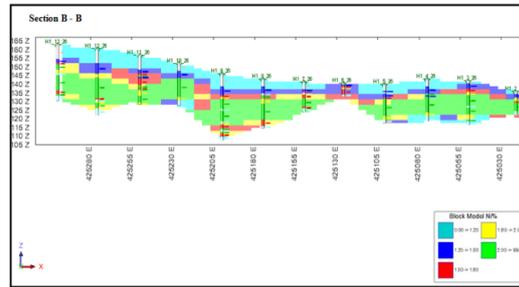
Hasil Estimasi Block Model dengan metode IDW menunjukkan block hasil estimasi memiliki pola sebaran kadar Ni sedikit berbeda dengan hasil estimasi menggunakan metode *Ordinary Kriging*. Perbedaan tersebut terjadi berdasarkan penggunaan metode estimasi. Dari bentuk model sebaran kadar Ni hasil estimasi block, memperlihatkan sebaran kadar Ni pada block yang smoot terdapat pada block yang menggunakan metode estimasi *ordinary kriging*, dibandingkan block hasil estimasi IDW dengan sebaran yang kurang teratur dan memiliki pola yang berbeda dengan data awal pada komposit log bor. Hasil estimasi block sumberdaya dapat dilihat pada gambar 10. block hasil estimasi IDW dan Gambar 11. Block hasil estimasi *Ordinary Kriging*.



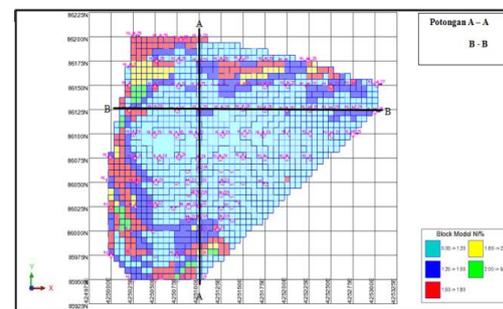
Gambar 10. Hasil Estimasi Sumberdaya Ni Metode IDW



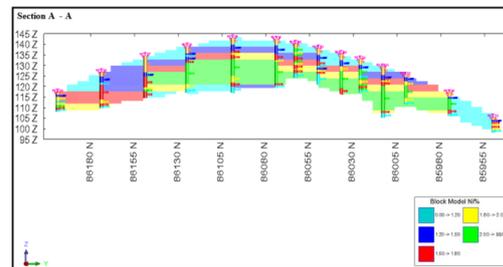
Gambar 10.1. Section A-A Metode IDW



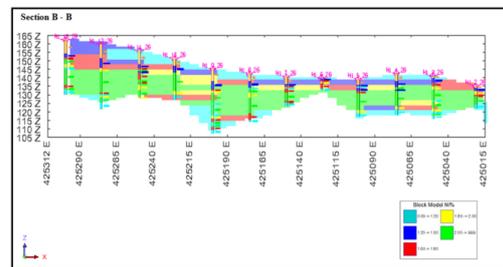
Gambar 10.2. Section B-B Metode IDW



Gambar 11. Hasil Estimasi Sumberdaya Ni Metode OK



Gambar 11.1. Section A-A Metode OK



Gambar 11.2. Section B-B Metode OK

Berdasarkan Hasil Estimasi Block dari kedua metode, dapat dilihat hasil perhitungan tabulasi sumberdaya Ni hasil diestimasi pada tabel 3. untuk Metode IDW dan Tabel 4. untuk metode OK, memperlihatkan selisih kadar dan tonase saprolit tidak terlalu besar sedangkan pada limonit terdapat perbedaan tonase yang sangat besar, yaitu tonase hasil estimasi blok kriging memiliki tonase yang lebih dari tonase hasil estimasi blok IDW.

Tabel 3. Tabulasi data Hasil Estimasi Sumberdaya Ni metode IDW

Material	Volume M <sup>3</sup>	SG	Tonase	Kadar Ni%	Kadar Fe%	Ket
OB	153.750	1.6	246.000	0.81	40.5	waste
Limonit	111.562	1.6	178.407	1.35	33.28	ore
Waste	58.125	1.5	97.650	1.23	9.87	waste
LGSO	268.125	1.5	402.188	1.64	22.29	ore
MGSO	189.375	1.5	284.063	1.89	15.07	ore
HGSO	399.375	1.5	599.063	2.31	11.81	ore
<b>Total</b>	<b>1.387.500</b>		<b>2.134.125</b>	<b>1.64</b>	<b>23.03</b>	

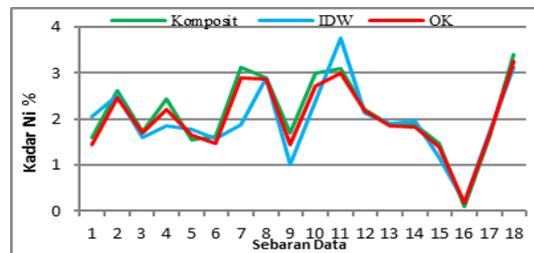
Tabel 4. Tabulasi data Hasil Estimasi Sumberdaya Ni Metode OK

Material	Volume (M <sup>3</sup> )	SG	Tonase	Kadar Ni%	Kadar Fe%	Ket
Over Burden	280.313	1.6	413.062	0.91	38.28	waste
Limonit	184.688	1.6	259.875	1.36	27.39	ore
Waste	50.625	1.5	75.938	1.33	10.16	waste
LGSO	266.250	1.5	399.375	1.65	22.26	ore
MGSO	200.625	1.5	300.938	1.9	15.47	ore
HGSO	405.000	1.5	607.500	2.28	11.95	ore
<b>Total</b>	<b>1.387.500</b>		<b>2.132.625</b>	<b>1.65</b>	<b>22.85</b>	

### 3.2.2. Perbandingan kadar Ni Komposit Data Bor dengan Hasil Estimasi IDW Dan Ordinary Kriging

Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan dengan membandingkan data kadar Ni hasil estimasi blok menggunakan metode *inverse distance weight* dan *ordinary kriging* dengan data komposit bor eksplorasi kadar Ni,

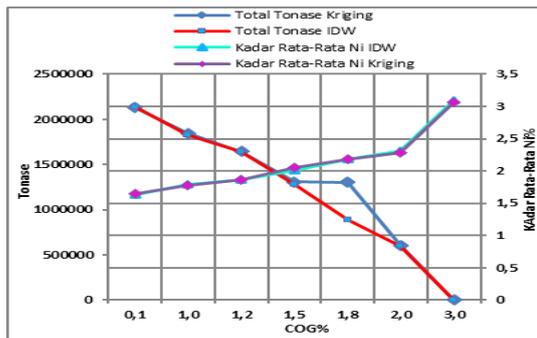
memperlihatkan pola grafik kadar Ni hasil estimasi blok *ordinary kriging* lebih cenderung mengikuti/ mendekati pola grafik data komposite kadar Ni data bor eksplorasi. Sedangkan pola sebaran metode IDW sedikit berbeda dengan pola sebaran data komposit kadar Ni dan cenderung sedikit bervariasi (Gambar 12). Dengan demikian maka dapat disimpulkan bahwa pada lokasi penelitian *site* Pulau Pakal lebih baik menggunakan metode *ordinary kriging* sebagai metode estimasi pada block lokasi penelitian.



Gambar 12. Grafik Perbandingan data hasil estimasi blok IDW, OK dengan data Komposit kadar Ni

### 3.2.3 Perbandingan Tonase dan Kadar Hasil Estimasi Berdasarkan COG

Hasil perbandingan tonase dan kadar rata-rata hasil estimasi berdasarkan *COG (Cut Off Grade)* menunjukkan bahwa semakin kecil *COG* maka jumlah tonase akan naik (besar), dan semakin besar *COG* maka harga jumlah tonase akan menurun (kecil). Pada grafik dibawah ini, nilai kadar *COG* Ni 1.8% terlihat memiliki selisih perbedaan tonase blok, dimana pola grafik tonase Ni hasil estimasi *ordinary kriging* lebih besar dibandingkan pola grafik hasil estimasi IDW, namun pada grafik kadar rata-rata Ni dari kedua metoda hasil estimasi masih memiliki pola yang cenderung mirip.



Gambar 13. Grafik Tonase dan kadar rata-rata Ni hasil estimasi IDW dan Kriging Berdasarkan COG

#### IV. KESIMPULAN

1. Hasil validasi data dengan diagram pencar menunjukkan nilai korelasi antara data estimasi ordinary kriging vs data komposit Ni memiliki nilai korelasi positif lebih tinggi ( $R=0,97$ ), dibandingkan dengan nilai korelasi antara data hasil estimasi IDW vs data Komposit Ni yang lebih rendah ( $R= 0,84$ ). Hasil korelasi ini menunjukkan bahwa hasil estimasi kadar Ni dengan metoda blok *ordinariy kriging* lebih mendekati data original/ data bor dibandingkan metoda estimasi blok IDW.
2. Berdasarkan hasil estimasi blok dengan metoda *Inverse Distance Weight (IDW)* dan *Ordinary kriging(OK)* untuk kategori kategori metrial, hasil estimasi *IDW* memiliki total tonase sebesar 1.311.920 ton dengan kadar rata-rata Ni sebesar 1.67% dan kadar Fe 22.57%, sedangkan untuk total tonase hasil

estimasi blok *Ordinary kriging* sebesar 1.491.571 Ton dengan kadar rata-rata Ni 1,62% dan kadar Fe 20,99%. Hasil estimasi kategori sumberdaya metode IDW sebesar 1.221.090 ton dengan kadar Ni sebesar 1.96% dan kadar Fe 15.91%, dan *Ordinary kriging* sebesar 1.203.566 Ton dengan kadar Ni sebesar 1.91% dan kadar Fe 8.21%. Hasil estimasi berdasarkan kategori cadangan maka didapatkan total hasil estimasi untuk metode IDW tonase sebesar 965,250 ton dengan kadar Ni 2.15% dan kadar Fe 12.00%, dan *ordinary kriging* dengan total tonase sebesar 988,672 Ton dengan kadar Ni sebesar 2.16% dan kadar Fe 13.78%.

3. Berdasarkan grafik hasil perbandingan data antara data komposit Ni dengan data hasil estimasi blok dengan metode *Inverse Distance Weight* dan metode *Ordinary kriging*, dapat dilihat bahwa grafik data dari hasil estimasi metoda blok *Ordinary Kriging* lebih cenderung mengikuti pola grafik pada data komposit Ni dibandingkan data grafik metoda IDW.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penerapan metode estimasi yang lebih ideal dan akurat digunakan untuk mengestimasi sumberdaya nikel laterit pada *Front Best Site* Pulau Pakal adalah menggunakan metode *Ordinary kriging*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amstrong, M., 1998 Basic Linear Geostatistik. Springer*
- Bold, J.r., 1967. The Winning Of Nickel. Princenton, New Jersei D. Van Nostard Co. Inc*
- David, M. 1997 Geostatistik Ore Reserve Estimation. Developmen in Geomatematik 2. Amsterdam oxford New York: Elsevier Sientific Publishing Company.*
- Darijanto, Totok. 1986. **“Pengaruh morfologi terhadap pembentukan dan penyebaran nikel lateritik”**.
- EN-EU IFRS 6** (*Interntional Financial Reporting Standar 6*) *Exploration for and Evaluation of Mineral Resources.*
- Journel G, 1963 And Huijbreghs, J.1978 Mining Geostatistic London Akademik Pres.*
- KCMI, 2011** Kode Pelaporan Hasil Eksplorasi Sumberdaya Mineral dan Cadangan Bijih Indonesia.
- Marlundu, Patar 2011:** *Geologi And Miing Proses In Laterit Nickel Deposite* PT. At PT. Antam Persero UBP Nickel North Maluku East Halmahera
- Materon G., 1963.** *Priciple Of Geostatistikn Ekonomi Geologi*, Vol.58, pp.1246 – 1266
- Pramono, GH, 2008,** Akurasi Metode IDW dan Kiriging Untuk Interpolasi Sembaran Nikel Laterit.
- Rafiq Rafsanjani Muh., Jamaludin, Bakri Hasbi 2016.** Estimasi Sumberdaya Nikel Latereit Dengan Menggunakan Metode IDW “ *Jurnal Geomin*, Vol 04, No 1: April 2016.
- Sinclair, A.J., dan Blackwell, G.H., 2005.** *Applied Mineral Inventory Estimation.* Cambridge University Press.
- SNI No. 4726-2011** *“Pelaporan sumberdaya dan cadangan mineral”*. Badan Standar Nasional Indonesia.
- SNI. 1998.** *“Klasifikasi Cadangan dan Sumberdaya Mineral”*. Badan Standar Nasional.
- T. Apandi dan D. Sudana, 1980,** *“Peta Geologi Lembar Ternate, Maluku Utara”*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.