

Estimasi Sumber Daya Bijih Besi Menggunakan Metode *Inverse Distance Weighted* dan *Ordinary Kriging* di PT.KUATASSI, Kabupaten Solok, Sumatera Barat

Muhammad Rizky^{1*}, Dedi Yulhendra^{1**}

¹Mahasiswa Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

²Dosen Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*mhdrizky868@gmail.com

**dediyulhendra@ft.unp.ac.id

Abstract. PT. Karya Usaha Aneka Tambang Solok Selatan Indonesia is a company engaged in iron ore mining in Danau Kembar District, Solok Regency, West Sumatra with a mining business permit area of 31 hectares. PT. Karya Usaha Aneka Tambang Solok Selatan Indonesia has carried out further exploration and drilled 11 drill holes. This study has purpose to modeling, analyzing, and validating estimation method used for the assessment of iron ore resources at PT. Karya Usaha Aneka Tambang Solok Selatan Indonesia. The method used in this research is Inverse Distance Weighted (IDW) and Ordinary Kriging (OK) using Surpac 6.5.1 software. The block model made with the size of the model block units is 5x5x1 meter. The accuracy of the two methods in the assessment will be compared using downhole composite validation. In this study, the data used is data from detailed exploration drill activities of 11 drill holes with 254 composite data. From the results of the study, the estimation of the IDW method was obtained from all resources, namely 524,115 tons with a volume of 137,925 m³ and an average Fe content of 37.50%. And for the OK method estimation, the amount of all resources is 288,990 tons with a volume of 76,050 m³ and an average Fe content of 37.50%. Based on the validation using the composite downhole of each method, the IDW method gets results that are closest to the composite value and get a value that is greater than the OK method. So the volume that will be used in various decision making for the purposes of further exploration, mine planning and other technical matters is the volume of the IDW method.

Keywords: Estimation, Iron Ore, IDW, Ordinary Kriging

1 Pendahuluan

Indonesia memiliki hasil tambang yang potensial, salah satunya adalah bijih besi. Potensi pasir besi dan bijih besi di Indonesia cukup besar, sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku industri baja. Sumber daya untuk industri besi baja diklasifikasikan dalam tiga jenis, yaitu besi laterit, besi primer dan pasir besi. Salah satu daerah yang memiliki potensi bijih besi adalah Provinsi Sumatera Barat, yaitu di Kabupaten Solok.

PT. Karya Usaha Aneka Tambang Solok Selatan Indonesia (KUATASSI) adalah perusahaan penambangan bijih besi yang berada di Kecamatan Danau Kembar, Kabupaten Solok, Provinsi Sumatera Barat dengan luas Izin Usaha Pertambangan seluas 31 Ha. Metode penambangan yang dilakukan di PT.

KUATASSI yaitu sistem tambang terbuka dengan *open cast mining method*.

Untuk saat ini, PT. KUATASSI telah melakukan eksplorasi lanjutan dan melakukan pengeboran sebanyak 11 lubang bor. Adapun hasil uji lab yang dilakukan oleh PT. KUATASSI didapatkan bahwa berat jenis rata-rata bijih besi hasil pemboran adalah 3.8 ton/m³. Dengan adanya eksplorasi lanjutan, maka perlu dilakukan estimasi sumber daya bijih besi yang lebih akurat dalam bentuk blok model agar bisa dijadikan pedoman untuk penambangan nantinya.

Penentuan suatu metode estimasi sumber daya sangat penting untuk mengurangi kesalahan dan meningkatkan akurasi evaluasi sumber daya dan cadangannya. Penentuan metode estimasi sumber daya dari komoditas bijih besi adalah hal yang penting. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini akan membandingkan 2 metode

interpolasi, yaitu *Inverse distance weight* (IDW) dan *Ordinary Kriging* (OK) yang kemudian akan dilakukan validasi terhadap kedua metode tersebut.

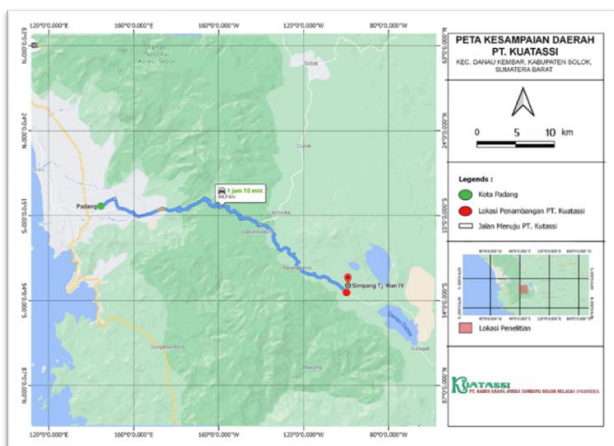
2 Lokasi Penelitian

PT. Karya Usaha Aneka Tambang merupakan perusahaan bergerak dibidang pertambangan Bijih Besi dengan No. SK: 544-145-2018. PT. Karya Usaha Aneka Tambang memiliki luas area penambangan sebesar 31 hektar yang terbentang di kawasan Nagari Simpang Tanjung Nan IV, Kecamatan Danau Kembar, Kabupaten Solok, Sumatera Barat. Titik Koordinat IUP PT. KUATASSI dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1.Titik Koordinat IUP PT KUATASSI

Nomor Titik	Bujur Timur			Lintang Selatan		
	°	'	''	°	'	''
1	100	41	46.20	1	2	4.20
2	100	41	46.20	1	2	26.70
3	100	41	35.27	1	2	26.70
4	100	41	35.27	1	2	23.93
5	100	41	32.03	1	2	23.93
6	100	41	32.03	1	2	20.69
7	100	41	30.90	1	2	20.69
8	100	41	30.90	1	2	4.40

Untuk mencapai lokasi dari Kota Padang menuju PT. Kuatassi dapat ditempuh dengan kendaraan mobil atau motor sejauh lebih kurang 50 km dengan lama waktu tempuk kira-kira dua jam perjalanan, apabila telah melewati kebun teh artinya lokasi tambang sudah dekat. Peta kesampaian PT. KUATASSI dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini:



Gambar 1. Peta Kesampaian PT. Kuantassi

3 Tinjauan Pustaka

3.1 Analisis Statistik

Tujuan penggunaan statistik yaitu untuk mengetahui karakteristik atau parameter populasi endapan dari sampel yang di ambil. Analisis univarian merupakan alat statistik yang mendeskripsikan data dalam suatu populasi, dengan parameter dasar yang menggambarkan letak data meliputi modus, nilai tengah (median), , rata-rata (mean), nilai maksimum dan minimum.

Ukuran yang sering digunakan untuk mengukur penyebaran data adalah variansi yang dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$s^2 = \frac{\sum(x_i - m)^2}{n - 1}$$

Keterangan :

n : Jumlah data

m : Rerata (*mean* data)

x_i : Nilai data ke-i

i : Bilangan asli : 1,...n.

Akar dari variansi atau biasa disebut dengan simpangan baku (standart deviasi) adalah parameter dispersi yang lebih sering dipakai sebab satuannya sama dengan variabel, dinyatakan dengan rumus :

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - m)^2}{n - 1}}$$

Simpangan baku menunjukkan sebaran data terhadap nilai reratanya. Nilai simpangan baku yang kecil menggambarkan bahwa sampel menyebar secara merata serta cenderung mendekati nilai reratanya. Sedangkan nilai *standard error* menggambarkan pengaruh sampel terhadap rerata sampel yang ada. Nilai standart *error* yang kecil atau mendekati nol menunjukkan bahwa sampel akurat atau jumlah sampel cukup mewakili populasi yang diteliti. *Standard error* (SE), dinyatakan dengan rumus :

$$SE = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Ukuran kemencengan kurva (*skewness*) dinyatakan sebagai ukuran simetris atau tidaknya suatu sebaran data pada histogram. Penyebaran *skewness* positif menampilkan penyebaran data cenderung lebih banyak pada nilai data yang kecil, sedangkan *skewness* negatif menampilkan penyebaran data cenderung lebih banyak dalam nilai yang besar. Nilai *skewness* yang mendekati nol berarti penyebaran data mendekati bentuk simetris dan nilai rerata (mean) mendekati nilai data tengah (median). Nilai *skewness* dinyatakan menggunakan persamaan:

$$Skewness = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left(\frac{x_i - m}{s} \right)^3$$

Kurtosis adalah ukuran yang menunjukkan kecenderungan keruncingan puncak data. Persamaan kurtosis dinyatakan sebagai berikut :

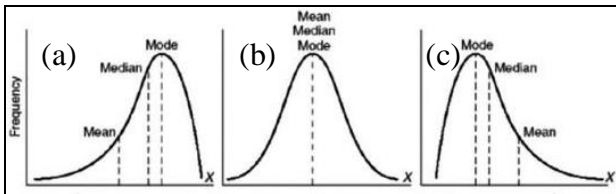
$$Kurtosis = \left[\frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum \left(\frac{x_i - m}{s} \right)^4 \right] - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

Skewness dan kurtosis ini digunakan untuk menunjukkan apakah data terpenyebaran normal atau tidak. Bentuk *skewness* negatif atau positif juga dapat terbaca langsung dari histogram. Histogram merupakan grafik yang menggambarkan frekuensi variabel pada interval tertentu. Histogram adalah cara yang efektif dan sederhana untuk menggambarkan beberapa atribut dari nilai suatu kadar.

Koefisien variansi (CV) merupakan perbandingan antara simpangan baku terhadap rata-rata hitung :

$$CV = \frac{\text{Simpangan baku}}{\text{mean}}$$

CV adalah parameter yang menunjukkan sifat heterogenitas suatu kelompok data, nilai CV yang tinggi menunjukkan nilai data yang melebar. Secara umum nilai $CV < 0,5$ menunjukkan penyebaran normal dan $CV > 0,5$ menunjukkan nilai *skewness* yang heterogen atau positif.



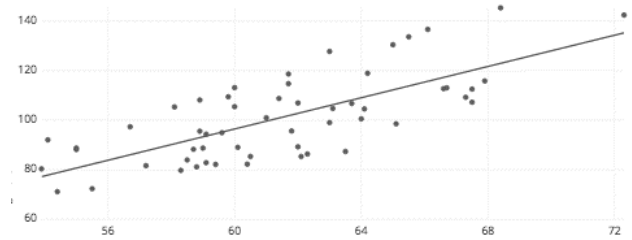
Gambar 2. Contoh hasil analisis lubang bor yang digambarkan dengan menggunakan histogram, (a) *Skewness* negatif, (b) simetris, dan (c) *skewness* positif.

Salah satu alat untuk merepresentasikan hubungan antara dua variabel adalah *scatter plot* atau X-Y plot. *Scatter plot* akan merepresentasikan hubungan antara variabel secara dua dimensi pada grafik X-Y dan akan melakukan pengujian terhadap variabel tersebut, apakah berhubungan satu sama lain atau tidak sama sekali. Bentuk *scatter plot* adalah gambaran grafis yang terdiri dari 2 peubah pada satu grafik X-Y. Kedua peubah memiliki hubungan positif jika kedua peubah tersebut cenderung mempunyai nilai yang berbanding lurus. Apabila kedua peubah tersebut cenderung menunjukkan nilai yang berbanding terbalik, maka kedua peubah tersebut memiliki hubungan negatif. Jika distribusi data kedua peubah cenderung acak, maka kedua peubah tersebut dikatakan tidak memiliki hubungan (Isaaks dan Srivastava, 1989). Koefisien korelasi bisa

menggambarkan hubungan antara 2 variabel tersebut, dengan rumus sebagai berikut :

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)(y_i - m_y)}{\sigma_x \sigma_y}$$

Jika kedua variabel memiliki hubungan kuat, maka nilai koefisien korelasi (r) akan semakin mendekati 1 atau sama dengan 1.



Gambar 3. Contoh Grafik *Scatter plot* Variabel X dan Variabel Y

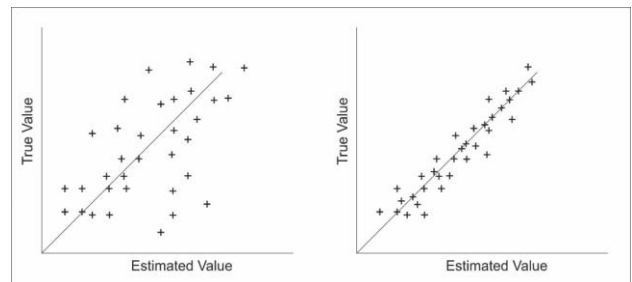
Seperti yang dijelaskan sebelumnya, hubungan yang kuat antara dua variabel dapat memprediksi salah satu variabel jika yang lain diketahui. Jenis prediksi antara lain regresi linier. Adapun persamaan garis lurus (regresi linier) adalah sebagai berikut :

$$y = ax + b$$

Gradien/slope, a dan konstan b diberikan oleh :

$$a = \rho \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \quad b = m_y - a \cdot m_x$$

Slope a, adalah koefisien korelasi dikalikan dengan rasio standard deviasi, dengan σ_y merupakan standard deviasi dari variabel yang berusaha untuk diprediksi dan σ_x adalah standard deviasi dari variabel yang diketahui. Setelah *slope* diketahui, konstan b dapat dihitung dengan menggunakan rata-rata dari dua variabel m_y dan m_x . Jika dilakukan cross validation antara nilai taksiran dan nilai sebenarnya maka idealnya hasil regresi memiliki nilai *slope* a mendekati 1 dan nilai y-intercept b mendekati 0.



Sumber: Isaaks dan Srivastava, 1989

Gambar 4. Cross Validation antara nilai yang ditaksir terhadap nilai yang sebenarnya

Pada Gambar 4 di atas, 2 set validasi data penyebaran berbeda di sekitar *bisector*. Estimasi yang ditampilkan pada *scatter plot* di (b) lebih baik dibandingkan dengan (a) karena titik-titik sampel umumnya terletak lebih dekat dengan garis *bisector*.

3.2 Analisis Variogram

Semivariogram merepresentasikan perbedaan spasial dan nilai diantara semua pasangan data. Semivariogram eksperimental dihitung dengan persamaan sederhana yaitu perbandingan rerata antara dua titik sampel dengan jarak tertentu. Variogram dapat dimodelkan dengan menggunakan beberapa persamaan berbeda yang disamakan dengan pola yang diperhatikan pada variogram empiris, antara lain yaitu model: linier, *Gaussian*, *exponentia* dan *spherical*.

Suatu semivariogram eksperimental didefinisikan dengan persamaan berikut ini (Isaak dan Srivastava., 1989):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_1) - Z(x_{i+h})]^2$$

Keterangan :

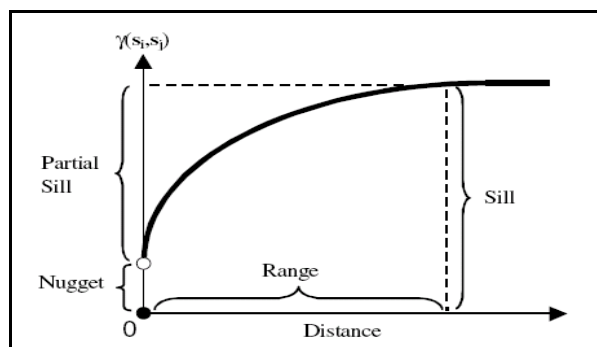
$\gamma(h)$: Variogram eksperimental

$n(h)$: Jumlah pasangan data

$Z(x_i + h)$: Nilai kadar di lokasi $(x_i + h)$

$Z(x_i)$: Nilai kadar di lokasi x_i

Grafik semivariogram eksperimental kemudian di cocokkan dengan model semivariogram yang paling sesuai. Dengan menggunakan model semivariogram parameter dasar seperti nugget variance (C_0), structural variance (C), range(A) dan sill ($C + C_0$) dapat dihitung (Isaak dan Srivastava., 1989). Nugget variance ialah nilai variansi yang diperkirakan pada jarak (h) sama dengan 0. Sill menyatakan variabilitas sampel-sampel yang independen secara spasial. Dan range adalah jarak dimana data tidak lagi berkorelasi atau independen secara spasial, dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini:



Gambar 5. Variogram dan model parameter nugget, sill dan range.

Terdapat 2 jenis semivariogram yaitu semivariogram isotropi dan semivariogram anisotropi. Perbandingannya ialah bahwa isotropi hanya tergantung pada jarak sedangkan anisotropi tidak hanya tergantung pada jarak tetapi juga pada arah distribusi.

3.3 Invers Distance Weight (IDW)

Metode Invers Distance Weight (IDW) adalah salah satu teknik interpolasi yang paling umum digunakan pada suatu sebaran data sampel (Shahbeik, 2013). Pada metode IDW, diasumsikan bahwa tingkat korelasi dan kesamaan antara titik yang diperkirakan dengan data sampel adalah sebanding dengan jarak. Bobot akan berubah secara linier, sebagai fungsi sepele jarak, tergantung dengan jarak ke data sampel. Bobot ini tidak dipengaruhi oleh lokasi data sampel. Faktor-faktor penting yang dapat mempengaruhi hasil interpolasi antara lain radius disekitar (*neighboring radius*) dan faktor *power* (P Barnes, 1980).

Menurut Isaak dan Srivastava (1989) faktor utama yang mempengaruhi keakuratan hasil interpolasi ialah nilai parameter *power*. Nilai *power* yang biasa digunakan yaitu: 1, 2, 3, 4 dan 5). Nilai *power* yang tinggi akan menghasilkan nilai seperti menggunakan interpolasi *nearestneighbor* dimana nilai yang diperoleh adalah nilai dari data point terdekat (P Barnes, 1980).

$$\hat{z} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^k} z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^k}}$$

Keterangan :

\hat{z} : Nilai titik yang ditaksir

d_i : Jarak antara titik i dengan titik yang ditaksir

z_i : Nilai dari titik penaksir- i

k : *Power*(1, 2, 3, 4, ,n)

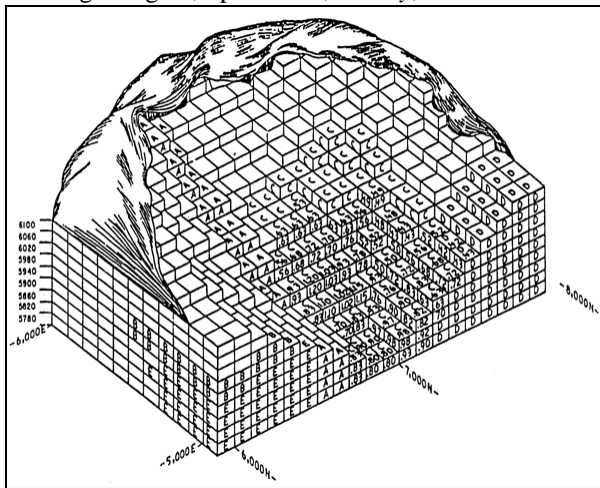
3.4 Ordinary Kriging (OK)

Matheron mengembangkan Metode *Ordinary Kriging* (OK) pada tahun 1963 dalam perhitungan tingkat rerata kadar suatu blok dengan menggunakan pembobotan data sampel disekitarnya berdasarkan semivariogram. Metode *Ordinary Kriging* (OK) merupakan metode perhitungan variabel acak di suatu titik (lokasi) tertentu dengan mengamati data yang serupa di lokasi lain dengan rerata data diasumsikan konstan namun nilainya tidak diketahui. Dalam metode ordinary kriging, diketahui bahwa nilai sampel digunakan sebagai kombinasi linier untuk memperkirakan titik-titik di sekitar area (lokasi) sampel. Dalam ordinary kriging, $m(s)$ ialah mean dari $Z(s)$ yaitu $m(s) = E(Z(s))$, dimana $E(Z(s)) = \mu$.

3.5 Konsep Blok Model

Permodelan dan estimasi sumberdaya mineral berbasis komputer dibuat berdasarkan pada kerangka model blok. Ukuran blok adalah fungsi geometri mineralisasi pada area penelitian dan sistem penambangan yang hendak dipakai sketsa model blok 3D. Variabel yang diperlukan untuk pemodelan yaitu topografi area penelitian (topo), jenis batuan (*rock*), informasi geologi, kadar mineral, masa jenis (*density*), persentase blok sebagai bagian bijih (*ore*), dan tonase masing-masing blok.

Model blok merupakan model komputer yang membagi deposit bijih menjadi blok yang serupa. Permodelan dan estimasi sumber daya mineral secara komputer dibuat berdasarkan kerangka model blok. Model dalam bentuk balok memiliki dimensi tertentu yang diperoleh dari data lubang pengeboran. Blok memberikan informasi yang diperoleh dari data lubang pengeboran, seperti kandungan logam, tipe batuan, *density*, dan nilai blok.



Sumber: (Hustrulid&Kuchta, 1995)

Gambar 6. Model Blok Tiga Dimensi

4 Metodologi Penelitian

4.1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini yaitu penelitian kuantitatif, dikarenakan pada penelitian ini akan menggunakan angka-angka sebagai datanya. Penelitian kuantitatif adalah jenis penelitian yang akan menghasilkan penemuan yang dapat dicapai (diperoleh) dengan menggunakan prosedur statistik atau bentuk kuantifikasi lainnya (V. Wiratna Sujarweni, 2014).

4.2 Tahapan Penelitian

4.2.1 Studi Literatur

Tahapan penelitian ini dilakukan dengan mempelajari dokumen pustaka yang mendukung dan diperoleh dari lembaga terkait, buku – buku, jurnal yang terkait dengan penelitian dan laporan yang relevan.

4.2.2 Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang dilakukan oleh penulis adalah data sekunder yang berisi peta topografi, data *assay*, data *collar*, dan data survey.

4.2.3 Pengolahan Data

Setelah data didapatkan maka selanjutnya adalah pengelompokan dan pengolahan data. Adapun tahapan pengolahan data yaitu sebagai berikut:

- Mengolah data topografi untuk mengetahui kontur daerah penelitian.
- Mengolah data *assay*, data *collar*, data survey, dan litologi untuk memunculkan *display* dari titik bor.
- Mengolah data bor dalam bentuk lubang bor, kemudian dibuat menjadi *solid* sesuai zonasi pada lubang bor menjadi blok model.
- Setelah semua data bor yang ada Setelah semua data yang ada diolah selanjutnya dilakukan analisis data yang sudah diolah. Dari perhitungan yang dilakukan maka akan didapatkan estimasi sumber daya. Untuk analisis sendiri yaitu menghitung sumber daya bijih menggunakan metode IDW dan *Kriging* kemudian akan didapatkan estimasi sumber daya yang akan menjadi rekomendasi kepada perusahaan.

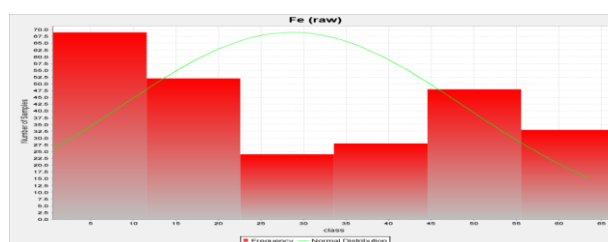
5 Hasil Penelitian dan Pembahasan

5.1. Hasil Penelitian

5.1.1 Analisis Statistik Univarian

Hasil analisis statistik unvarian dari data komposit *assay* bijih besi di aera penelitian mempunyai nilai standar deviasi yang cukup besar, ini menunjukkan bahwa penyebaran sampel cenderung didistribusikan secara merata dan nilai CV nya $> 0,5$ (Isaaks dan Srivastava, 1989), hal ini juga menunjukkan nilai *skewness* yang positif atau heterogen. Kemudian untuk nilai *skewness* positif menunjukkan penyebaran data cenderung lebih banyak pada data yang bernilai kecil. Nilai *skewness* yang mendekati nol berarti bahwa penyebaran data mendekati bentuk simetris dan merata (*mean*).

Analisis ini digunakan untuk melihat kecenderungan data komposit *assay* Fe yang dipakai, apakah sudah mewakili populasi pada lokasi penelitian. Penyebaran data *assay* Fe yang digunakan ditampilkan dalam bentuk diagram batang (histogram). Histogram analisa komposit kadar Fe dapat dilihat pada Gambar 7 di bawah ini:



Gambar 7. Histogram Komposit Kadar Fe

Analisis deskriptif unvarian adalah parameter yang dipakai untuk menentukan pemusatan data sampel. Parameter yang dipakai simpangan baku (*standard deviation*) dan rerata (*mean*) dalam merepresentasikan

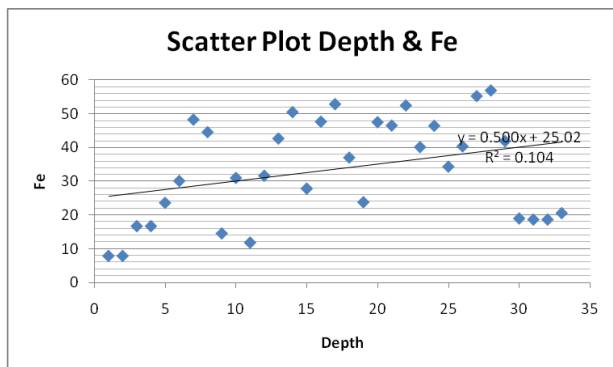
data kadar komposit *assay* Fe yang disebut layak dengan menggunakan parameter simpangan baku (*standard deviation*) dan rerata (mean). Nilai standar deviasi (SD) yang didapat sebesar 20,11 sedangkan nilai reratanya sebesar 28,69. Jika nilai rerata lebih besar daripada nilai standar deviasi, hal ini menunjukkan bahwa nilai rerata data kadar komposit *assay* Fe mewakili (representatif) dari seluruh data atau juga ditafsirkan bahwa penyimpangan data (standar deviasi) tidak mempengaruhi distribusi kadar komposit Fe yang ada, karena jarak antar data kadar komposit *assay* Fe saling berhubungan sehingga mempunyai pengaruh yang dekat antar sampel kadar komposit *assay* Fe. Hasil analisis statistik pada kadar komposit Fe dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini:

Tabel 2. Hasil Analisis Statistik Kadar *assay* dan Komposit Fe

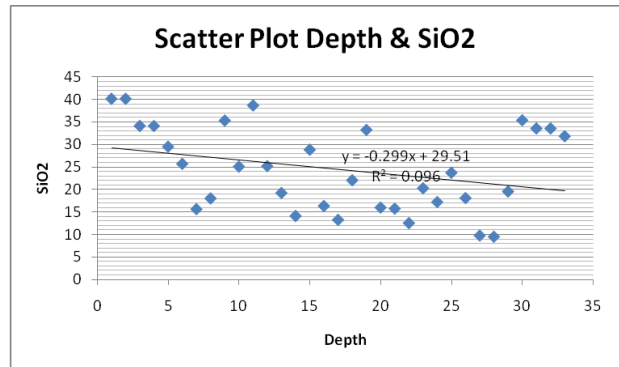
Parameter	Komposit
Minimum	0.56
Maksimum	63.45
Mean	28.69161
Variance	404.5609
Std. Dev	20.1137
CV	0.701031
Skewness	0.163228
Kurtosis	1.544015
Median	24.125
Jumlah Data	254

5.1.2 Analisis Statistik Bivarian

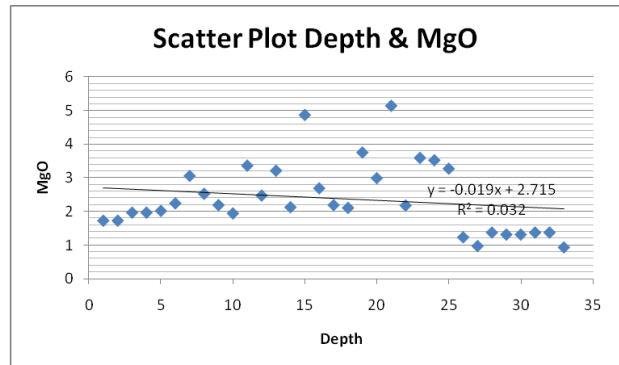
Hasil dari analisis statistik bivariat ini berupa *scatter plot* atau diagram pencar yang menunjukkan hubungan antara dua variabel atau populasi yang berbeda yang terletak pada lokasi yang sama. *Scatter plot* antara kedalaman dan Fe, kedalaman dan SiO₂, Kedalaman dan MgO, dan kedalaman dan MnO dapat dilihat pada Gambar 8 sampai Gambar 11 di bawah ini:



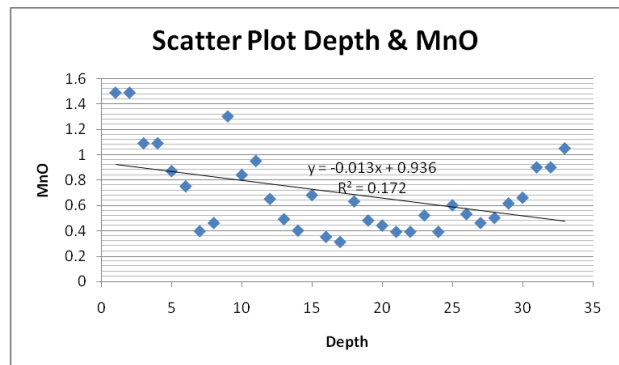
Gambar 8. Grafik *Scatter plot* Depth & Fe



Gambar 9. Grafik *Scatter plot* Depth & SiO₂



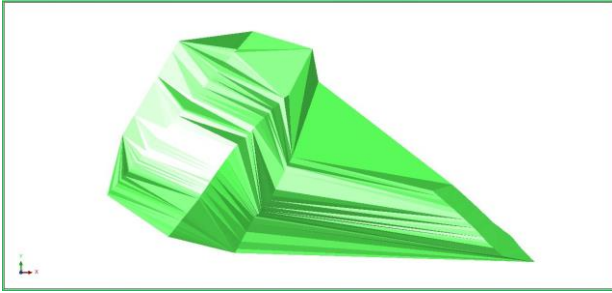
Gambar 10. Grafik *Scatter plot* Depth & MgO



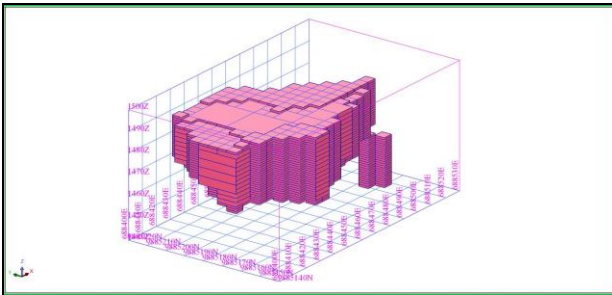
Gambar 11. Grafik *Scatter plot* Depth & MnO

5.1.3 Pemodelan Biji Besi Menggunakan Blok Model

Blok model ini dibuat dengan ukuran dari unit-unit blok model, yaitu 5x5x1 meter. Gambar 23 di bawah ini menunjukkan kerangka blok model dengan batas minimum northing 9885145,146 N, maksimum northing 9885209,673 N, minimum easting 688403,159 E, maksimum easting 688525,516 E, minimum elevation 1445,228 mdpl, dan maksimum elevation 1493,992 mdpl. Di dalam blok model ini nantinya akan terisi dari beberapa attribute seperti kadar (*grade*) densitas, dan metode estimasinya dari masing-masing metode.



Gambar 12. Domain ore body dalam solid (3 dimensi)



Gambar 13. Domain ore body dalam blok model

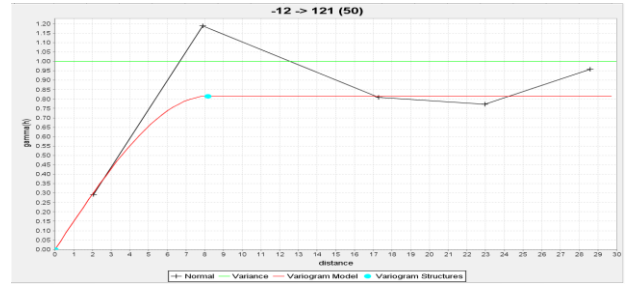
5.1.4 Analisis Variogram

Analisis variogram dilakukan menggunakan data kadar komposit Fe dengan tujuan untuk mendapatkan hubungan spasial antar sampel sehingga dapat diketahui jarak antar sampel yang masih dapat saling mempengaruhi atau kemenerusan kadarnya yang akan menjadi parameter untuk interpolasi kadar.

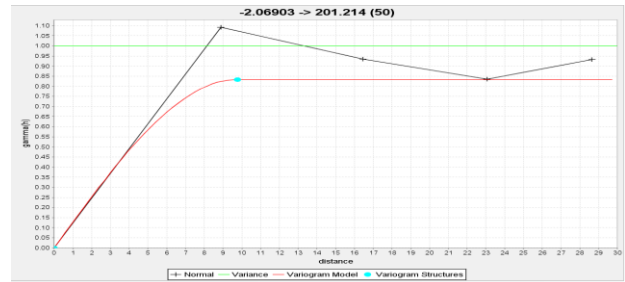
Fitting model variogram teoritis dilakukan sebagai proses pencocokan antara model variogram dengan variogram eksperimental yang sesuai. Proses *fitting* variogram dilakukan secara manual (tidak komputerisasi) sehingga setiap orang memiliki penarikan garis struktur variogram yang berbeda terutama dalam penentuan titik awal pada model variogram tersebut (nugget) dan penentuan sill juga akan selalu berbeda setiap orang yang melakukan variografi.

Karakteristik struktur mineralisasi endapan mineral dapat berbeda untuk arah yang berbeda pula. Parameter variogram dapat berubah secara cepat pada arah vertikal dibandingkan dengan arah horizontal. Oleh sebab itu, mengetahui kondisi anisotropi dari suatu data, atau menentukan orientasi data yang mempunyai kontinuitas paling panjang melalui analisis variogram adalah salah satu aspek penting pada estimasi geostatistik.

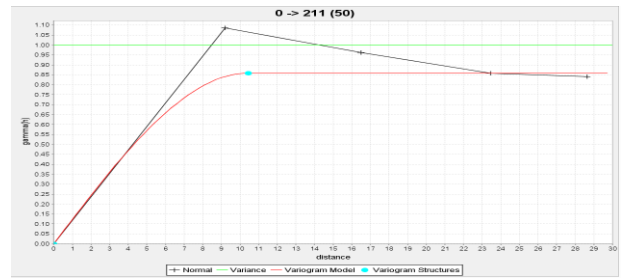
Analisis variogram terhadap data komposit kadar Fe dilakukan pada berbagai arah dengan mengatur parameter azimuth dan dip untuk mengetahui kontinuitas data secara 3D sehingga didapatkan parameter estimasi yang representatif dalam pennaksiran. Hasil analisis pada Gambar 14 sampai Gambar 16 menunjukkan variogram yang memiliki *range* yang berubah-ubah sesuai dengan arahnya (model anisotropi):



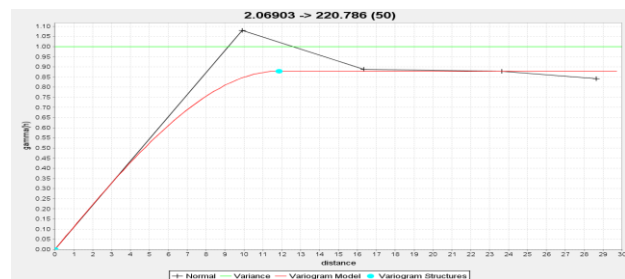
Gambar 10. *Fitting* Variogram pada Azimut 121°



Gambar 14. *Fitting* Variogram pada Azimut 212°



Gambar 15. *Fitting* Variogram pada Azimut 211°



Gambar 16. *Fitting* Variogram pada Azimut 220,786°

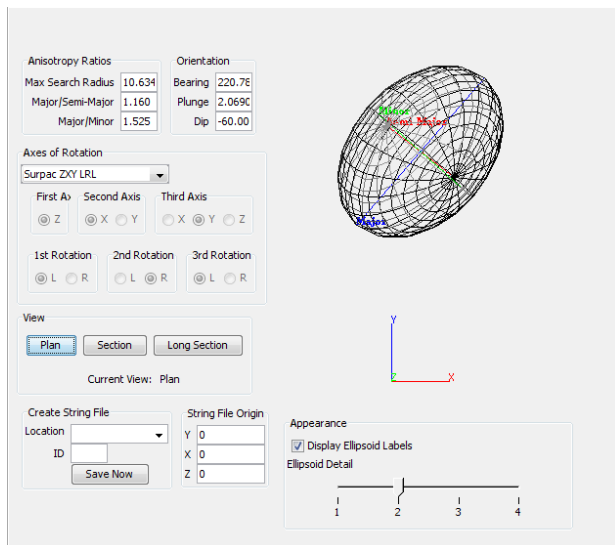
Gambar di atas menunjukkan grafik garis dengan arah actual dan arah model. Arah actual adalah arah grafik yang sebenarnya, dan arah model adalah grafik yang dimodelkan agar membentuk arah penyebaran data menjadi lebih teratur. Dan dari hasil grafik mode juga didapatkan nugget, sill, dan range, dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini:

Tabel 3. Hasil Variogram Modeling

Parameter	Azimut 121°	Azimut 201,214°	Azimut 211°	Azimut 220,778°
Nugget	0	0	0	0
Sill	0,8153	0,8341	0,8590	0,8791
Range	8,166	9,762	10,443	11,855

Hasil analisis struktural atau pencocokan pola data pada variogram eksperimental dengan menggunakan model variogram teoritis didapatkan model yang paling sesuai yaitu model variogram *spherical* dengan nilai *nugget* 0, *sill* 0,8791, dan *range* 11,855 (*fitting* variogram pada azimuth 220,778°).

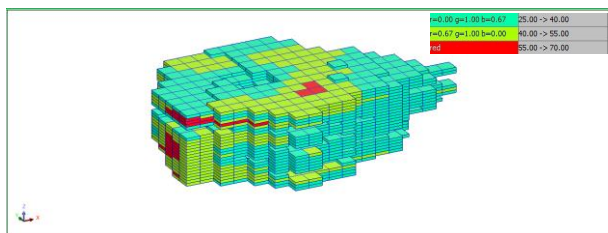
Visualisasi dari elipsoid yang dipakai dalam estimasi dan berfungsi sebagai alat bantu untuk mengetahui orientasi anisotropi atau isotropi secara 3D di lokasi penelitian. *Max. search radius* merupakan jarak pengaruh terjauh yang didapat dari hasil variografi, sedangkan *bearing* merupakan orientasi arah *range* terjauh yang didapatkan dari hasil variografi. Visualisasi Elipsoid dapat dilihat pada Gambar 17 di bawah ini:



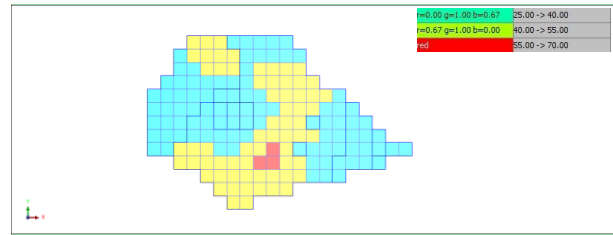
Gambar 17. Visualisasi Elipsoid (*Long Section View*)

5.1.5 Metode *Inverse Distance Weight*

Estimasi menggunakan metoda IDW adalah menentukan nilai dari suatu titik yang belum diketahui nilainya dengan memakai kombinasi bobot linear dari satu titik ke titik sampel lainnya. Titik-titik sampel yang dimaksud ialah titik-titik yang sudah ditentukan nilainya secara spasial lokasinya paling berdekatan dengan titik-titik yang telah diketahui nilainya. Sedangkan bobot yang dimaksud ialah fungsi jarak terbalik (*inverse distance*) titik-titik sampel tersebut terhadap titik yang hendak ditetapkan nilainya. Hasil blok model yang telah diestimasi secara tampak atas maupun tampak 3 dimensinya dapat dilihat pada gambar 18 dan gambar 19 dibawah ini:



Gambar 18. Blok Model Hasil Estimasi Metode IDW (*3D View*)



Gambar 19. Blok Model Hasil Estimasi Metode IDW (*Plan View*)

Setelah interpolasi selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan estimasi jumlah sumberdaya bijih besi. Dalam estimasi sumberdaya, data yang dipakai berdasarkan pada kadar Fe di dalam domain yang telah dibuat sebelumnya. Hasil estimasi dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini:

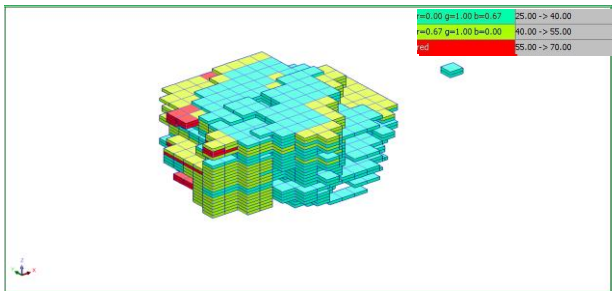
Tabel 4. Hasil Estimasi Jumlah Sumber Daya Metode IDW

Interval Kadar	Volume Sumberdaya (m3)	Rata-rata Kadar (%) Fe)	Tonase
25 – 40	86.575	31,91	328.985
40 – 55	49.650	45,32	188.670
55 - 65	1.700	57,18	6.460
Total	137.925	37,05	524.115

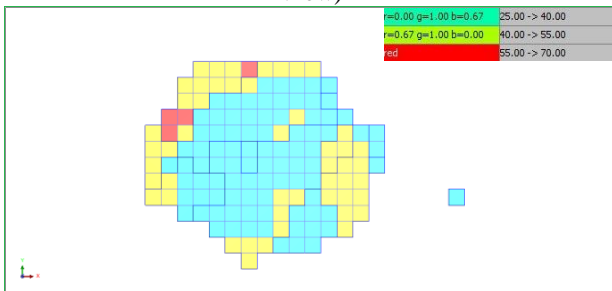
Pada Tabel 4 hasil estimasi jumlah sumber daya di atas tampak jumlah dari seluruh sumber daya yaitu yaitu 524.115 ton dengan volume 137.925 m3 dan rata-rata kadar Fe sebesar 37.05 %. Hasil nilai tonase merupakan hasil dari perkalian volume dengan densitas bijih besi yaitu 3.8. Dari Tabel juga terlihat bahwa kecenderungan volume terbesar ada pada *range* kadar 25% – 40% dengan total volume sebesar 86.575 m3.

5.1.6 Metode *Inverse Distance Weight*

Estimasi menggunakan metoda *ordinary kriging* merupakan metode geostatistika yang menggunakan nilai spasial di lokasi tersampel dan variogram untuk menentukan nilai di lokasi yang belum dan tidak tersampel dimana nilai prediksi tersebut tergantung pada kedekatannya terhadap lokasi tersampel. Metode *ordinary kriging* cenderung menghasilkan taksiran blok yang lebih merata atau kurang bervariasi dibandingkan dengan kadar yang sebenarnya (*smoothing effect*). Hasil blok model yang telah diestimasi secara tampak atas maupun tampak 3 dimensinya dapat dilihat pada gambar 20 dan gambar 21 dibawah ini:



Gambar 20. Blok Model Hasil Estimasi Metode OK(3D View)



Gambar 21. Blok Model Hasil Estimasi Metode OK(Plan View)

Setelah interpolasi selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan estimasi jumlah sumberdaya bijih besi. Estimasi sumberdaya dilakukan menggunakan bantuan *software*. Dalam estimasi sumberdaya, data yang dipakai berdasarkan pada kadar Fe didalam domain yang telah dibuat sebelumnya. Hasil estimasi dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini:

Tabel 5. Hasil Estimasi Jumlah Sumber daya Metode OK

Interval Kadar	Volume Sumberdaya (m ³)	Rata-rata Kadar (% Fe)	Tonase
25 – 40	49.750	32,53	189.050
40 – 55	24.850	46,29	94.430
55 - 65	1.450	57,57	5.510
Total	76.050	37,50	288.990

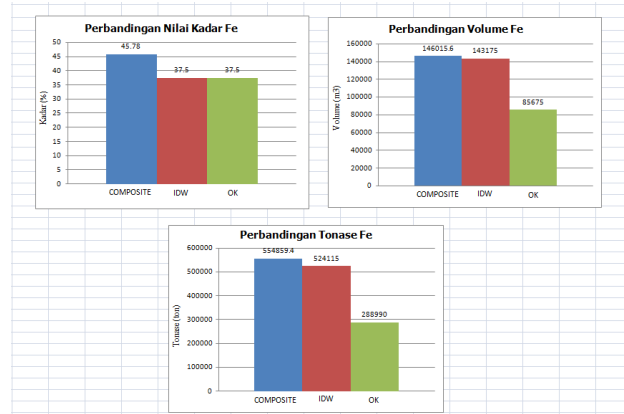
Pada Tabel 5. hasil estimasi jumlah sumber daya di atas tampak jumlah dari seluruh sumber daya yaitu 288.990 ton dengan volume 12 dan rata-rata kadar Fe sebesar 37,50%. Hasil nilai tonase merupakan hasil dari perkalian volume dengan densitas bijih besi yaitu 3.8. Dari Tabel juga terlihat bahwa kecenderungan volume terbesar ada pada range kadar 25% – 40% dengan total volume sebesar 49.750 m³.

5.1.7 Validasi Hasil Estimasi

Validasi disini meliputi validasi menggunakan metode *composite downhole* hasil dari metode IDW dan *Ordinary Kriging* yang bertujuan untuk memilih data pada pendekatan yang lebih serupa. Perbandingan hasil estimasi dapat dilihat pada tabel 6 dan gambar 22 di bawah ini:

Tabel 6. Perbandingan Hasil Estimasi

Metoda	Kadar (%)	Volume (m ³)	Tonase (ton)
Composite	45,78	146.015,6	554.859,4
IDW	37,50	137.925	524.115
OK	37,50	76.050	288.990



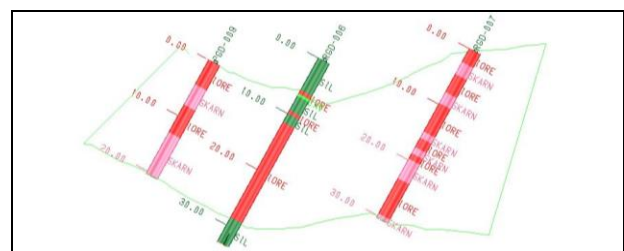
Gambar 22. Histogram Perbandingan Etimasi

Dari hasil estimasi di atas dapat dilihat bahwasannya hasil dari estimasi menggunakan metode IDW mendapatkan hasil yang lebih besar dibandingkan dengan metode OK, dan metode IDW lebih mendekati hasil dari data komposit.

5.2. Pembahasan

5.2.1 Validasi Data Assay dan Data Komposit

Dalam permodelan suatu endapan bijih mineral, kualitas dari suatu data merupakan faktor yang sangat penting. Kualitas data diharapkan seakurat mungkin sebelum digunakan sebagai basis data untuk melakukan estimasi sumberdaya. Hasil pengecekan dan pengelompokkan data *assay* diketahui dari 11 titik bor di lokasi penelitian terdapat 211 data dari kadar Fe. Keseluruhan data kadar ini lalu dikompositkan dengan interval 1 meter sehingga menjadi 254 sampel kadar Fe yang telah dikomposit. Domain *Ore Body* dapat dilihat pada gambar 23 di bawah ini:



Gambar 23. Domain *Ore Body* pada kadar batas Fe

5.2.2 Analisis Penarikan Sumber Daya

Dalam penelitian ini metode perhitungan sumberdaya berdasarkan pada jumlah blok model yang dihasilkan pada masing-masing metode estimasi. Cut off grade (COG) yang dipakai di lokasi penelitian adalah sebesar 25% kadar Fe dengan densitas bijih besi di lokasi penelitian adalah 3.8 ton/m³. Jumlah tonase sumberdaya didapat dari perkalian seluruh volume sumberdaya dengan densitas.

Hasil taksiran sumberdaya dengan metode IDW diperoleh jumlah sumberdaya sebesar 137.925 m³ atau setara 524.115 ton dengan rata-rata kadar 37,50%. Sedangkan pada metode OK jumlah sumberdaya sebesar 76.050 m³ atau 288.990 ton dengan rata-rata kadar sebesar 37,50%. Berdasarkan taksiran diatas, tampak bahwa metode IDW memiliki taksiran volume yang lebih besar dibandingkan dengan metode OK, hal ini dikarenakan metode estimasi OK menerapkan sistem pemerataan kadar yang mana hasil yang diperoleh kurang bervariasi.

Berdasarkan hasil analisis validasi yang telah dilakukan, maka diperoleh bahwa metode IDW yang lebih cocok diterapkan di lokasi penelitian, didukung pula dengan jumlah volume dari metode IDW yang memiliki volume hasil taksiran yang paling mendekati nilai composite. Untuk itu volume yang akan digunakan pada berbagai pengambilan keputusan untuk kebutuhan eksplorasi lanjut, perencanaan tambang dan hal teknis lainnya ialah volume dari metode IDW yaitu sebesar 137.925 m³ atau 524.115 ton dengan rerata kadar sebesar 37,50%.

6. Kesimpulan

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil blok model estimasi metode IDW dan OK, dapat diketahui bahwasannya bentuk sebaran endapan bijih besi di lokasi penelitian yaitu berbentuk bongkahan atau *boulder*.
2. Blok model hasil estimasi metode IDW diperoleh jumlah dari seluruh sumber daya yaitu 524.115 ton dengan volume 137.925 m³ dan rata-rata kadar Fe sebesar 37,50%. Dan untuk blok model hasil estimasi metode OK diperoleh jumlah dari seluruh sumber daya yaitu 288.990 ton dengan volume 76.050 m³ dan rata-rata kadar Fe sebesar 37,50 %.
3. Dari hasil validasi menggunakan *composite downhole* dari masing-masing metode, metode IDW mendapatkan hasil yang paling mendekati nilai *composite* dan mendapatkan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan metode OK, hal ini dikarenakan metode estimasi OK menerapkan sistem pemerataan kadar yang mana hasil yang diperoleh kurang bervariasi. Maka volume yang akan digunakan pada berbagai pengambilan keputusan untuk

keperluan eksplorasi lanjut, perencanaan tambang dan hal teknis lainnya ialah volume dari metode IDW yaitu sebesar 137.925 m³ atau setara 524.115 ton dengan rata-rata kadar 37,50%

6.2. Saran

Beberapa saran yang perlu diperhatikan berdasarkan hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu ada estimasi dengan metode lainnya lagi agar didapatkan hasil yang lebih akurat lagi, misalnya penggunaan metode NNP (*Nearest Neighbourhood Point*).
2. Untuk meningkatkan keakuratan dalam pemilihan metode, perlu dilakukan validasi dengan banyak metode validasi lainnya lagi misalnya penggunaan metode cross validation.

Daftar Pustaka

- [1] Afif Muhammad Rido. 2019. Estimasi Sumberdaya Bijih Besi Menggunakan Metode Ordinary Krigging di PT. Gamindra Mitra Kesuma, Kec. Sungai Beremas, Kab. Pasaman Barat, Sumatera Barat. *Jurnal Bina Tambang*, Vol.4, No.3
- [2] Asy'ari, M. A. (2012). Geologi dan Estimasi Sumber daya Nikel laterit dengan metode IDW (Inverse Distance Weight) dan Kriging pada Daerah bahodopi Kabupaten Morowali Propinsi Sulawesi Tengah. *Jurnal Intekna: Yogyakarta*.
- [3] 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.
- [4] Conoras, W. A., & Tabaika, M. (2019). Pemodelan dan Estimasi Sumber daya Nikel Laterit Site Pulau Pakal PT. ANTAM (Persero) Tbk Ubp Nickel Maluku Utara Menggunakan Metode Inverse Distance Weight dan Ordinary Kriging. *DINTEK*, 12(1), 19-28.
- [5] Cressie, N. A. C, 1993, *Statistics for Spatial Data*, Revised Edition, John Willey & Sons, Inc. New York.
- [6] De-Vitry, C., Vann, J., & Arvidson, H. (2010). Multivariate iron ore deposit resource estimation—a practitioner's guide to selecting methods. *Applied Earth Science*, 119(3), 154-165.
- [7] Hustrulid, M., Kuchta, R., Martin. 2013, *Open pit Mine Planning & Design*. CRC Press/Balkema : London
- [8] Isaaks, E., Srivastava, R.M., 1989, *An Introduction to Applied Geostatistics*, New York: Oxford University Press, p. 257-259, p. 278-290, p. 351-361.
- [9] Kode-KCMI 2011, Kode Pelaporan Hasil Eksplorasi, Sumberdaya Mineral Dan Cadangan

Bijih Indonesia Komite Cadangan Mineral Indonesia, Perhimpunan Ahli Pertambangan Indonesia dan Ikatan Ahli Geologi Indonesia.

- [10] Margaret, A. Oliver, and Webster, R., 2015. "Basic Steps in Geostatistics: The Variogram and Kriging", *Journal of Soil Science*, 32, 643–654.
- [11] Putra Eka Andrian. 2019. Estimasi Sumberdaya Batubara Menggunakan Metode Ordinary Kriging Pada Pit Central Timur Tambang Terbuka PT. Allied Indo Coal Jaya (PT. AICJ) Kota Sawahlunto. *Jurnal Bina Tambang*, Vol.4, No.3
- [12] Rafsanjani, M.R., Djamaluddin., Bakri. H, 2016, Estimasi Sumber Daya Bijih Nikel dengan Menggunakan Metode IDW di Provinsi Sulawesi Tenggara, *Prosiding Teknik Pertambangan, Jurnal Geomina*, vol. 04, No. 1, Hal. 20
- [13] Shahbeik, S., Afzal, P., Moarefvand, P., & Qumarsy, M. (2014). Comparison between ordinary kriging (OK) and inverse distance weighted (IDW) based on estimation error. Case study: Dardevey iron ore deposit, NE Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(9), 3693-3704.
- [14] Sujarweni, V. Wiratna. 2014. *Metode Penelitian: Lengkap, Praktis, dan Mudah Dipahami*. Yogyakarta: Pustaka Baru Press.
- [15] Trong, V. D., Bao, T. D., & Fomin, S. I. (2017). ORDINARY KRIGING COMPARISON AND INVERSE DISTANCE WEIGHTING FOR QUALITY ASSESSMENT OF VIETNAM CEMENT LIMESTONE DEPOSITS. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 17, 61-68.
- [16] Waterman, S., 2017, *Geostatistik, Edisi Kedua*, Prodi Teknik Pertambangan, UPN Veteran Yogyakarta
- [17] Yasrebi, A. B., Afzal, P., Wetherelt, A., Foster, P., Madani, N., & Javadi, A. (2016). Application of an inverse distance weighted anisotropic method (IDWAM) to estimate elemental distribution in Eastern Kahang Cu-Mo porphyry deposit, Central Iran. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*, 7(4), 340-362.
- [18] Yulhendra, D., & Anaperta, Y. M. (2013). Estimasi Sumberdaya Batubara dengan Menggunakan Geostatistik Kriging. *Jurnal Teknologi Informasi & Pendidikan*, 6, 168-177.