

Pemetaan Sebaran Kadar Al_2O_3 dan $RSiO_2$ Pada Endapan Laterit Bauksit Menggunakan Pendekatan Metode Interpolasi *Ordinary Kriging* dan *Inverse Distance Weighting*

Hendro Purnomo^{*1}, R. Andy Erwin Wijaya²

^{1,2}Program Studi Teknik Pertambangan Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

Article Info

Article history:

Received April 4, 2022

Accepted April 20, 2022

Published July 1, 2022

Keywords:

Bauksit
Variogram
Kriging

ABSTRAK

Bauksit, sebagai bijih utama aluminium, mempunyai kualitas yang baik jika mengandung kadar alumina (Al_2O_3) yang tinggi dan reaktif silika ($RSiO_2$) rendah. Penelitian ini dilakukan untuk memetakan distribusi spasial kadar Al_2O_3 dan $RSiO_2$ menggunakan metode interpolasi *ordinary kriging* (OK) dan *inverse distance weighting* (IDW). *Fitting* variogram dilakukan dengan model *spherical*, *exponential*, dan *gaussian*, dan pemilihan variogram dilakukan dengan parameter *residual sum of square* (RSS). Dalam proses interpolasi IDW menggunakan power 1, 2, 3 dan 4. Evaluasi metode interpolasi terbaik dilakukan dengan parameter *root mean square error* (RMSE) dan *mean error* (ME). Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode interpolasi OK lebih baik dibandingkan dengan metode IDW. Peta hasil interpolasi OK menggambarkan bahwa distribusi bauksit dengan konsentrasi kadar $Al_2O_3 \geq 48\%$ dan $RSiO_2 \leq 5\%$ menempati kurang lebih 50% dari luas daerah penelitian. Distribusi bauksit dengan kadar tersebut masih terbuka dan menerus ke arah utara, barat dan tenggara.



Corresponding Author:

Hendro Purnomo,
Program Studi Teknik Pertambangan Institut Teknologi Nasional Yogyakarta,
Jl. Babarsari, Tambak Bayan, Caturtunggal, Kec. Depok,
Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281
Email: *hendro.purnomo@itny.ac.id

1. PENGANTAR

Bauksit adalah material yang mengandung konsentrasi ekonomis aluminium, terbentuk dari proses pelapukan batuan induk yang kaya akan aluminium silikat. Bauksit merupakan bijih utama (*primary ore*) dari aluminium umumnya terbentuk pada iklim tropis yang lembab sampai sub-tropis, dengan curah hujan yang tinggi, dan temperatur rata-rata tahunan lebih dari $22^\circ C$ [1]. Aluminium dalam bauksit terdiri dari *gibbsite* ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$), *boehmite* ($Al_2O_3 \cdot H_2O$), dan *diaspore* ($Al_2O_3 \cdot H_2O$) [2]. Bauksit mempunyai kualitas yang baik jika mempunyai kadar alumina yang tinggi, $Al_2O_3 \geq 45\%$, dan kadar reaktif silika $RSiO_2 \leq 5\%$ [3]. Konsentrasi kadar reaktif silika ($RSiO_2$) dalam bauksit merupakan salah satu faktor utama dalam menentukan kualitas dan harga dari bijih Alumina [4]. Sehingga dalam eksplorasi endapan laterit bauksit pemetaan sebaran konsentrasi kadar Al_2O_3 dan $RSiO_2$ perlu dilakukan untuk mengetahui potensi distribusi bijih alumina yang sesuai dengan kualitas yang diperlukan.

Pemetaan distribusi spasial kadar unsur mineralisasi dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode antara lain dengan metode interpolasi deterministik dan metode interpolasi geostatistik. *Inverse distance weighting* (IDW) adalah metode deterministik yang dalam teknik interpolasinya menggunakan fungsi matematik biasa. Dalam perhitungannya metode IDW hanya berdasarkan pada hubungan jarak antara data dan objek titik yang di taksir. Metode ini memberikan bobot pada setiap poin data dalam fungsi rata rata berdasarkan sejarak terhadap poin target yang di estimasi [5]. Evaluasi metode IDW dilakukan dengan cara membandingkan hasil interpolasi dari manipulasi pangkat atau *power* yang digunakan. Metode ini banyak diterapkan di berbagai bidang karena lebih simpel, mudah difahami dan dapat diaplikasikan untuk kasus kasus dengan jumlah data yang terbatas [6].

Kriging adalah metode interpolasi geostatistik yang dalam teknik perhitungannya mengandalkan pada fungsi matematik dan statistik untuk mendapatkan hasil prediksi yang kredibel. Metode kriging terdiri dari beberapa jenis varian diantaranya adalah *ordinary* kriging (OK), *simple* kriging, indikator kriging (IK) dan co-kriging, dengan metode *ordinary* kriging sebagai varian yang paling sering digunakan dalam interpolasi [7]. *Ordinary* kriging (OK) adalah salah satu varian metode kriging yang paling dasar. OK memberikan estimasi pada lokasi yang tidak terobservasi, berdasarkan rata rata tertimbang dari data disekitarnya pada suatu area tertentu [8]. Saat ini metode OK secara luas telah digunakan di industri pertambangan terutama pada bidang estimasi sumberdaya dan cadangan, serta *grade control* [9].

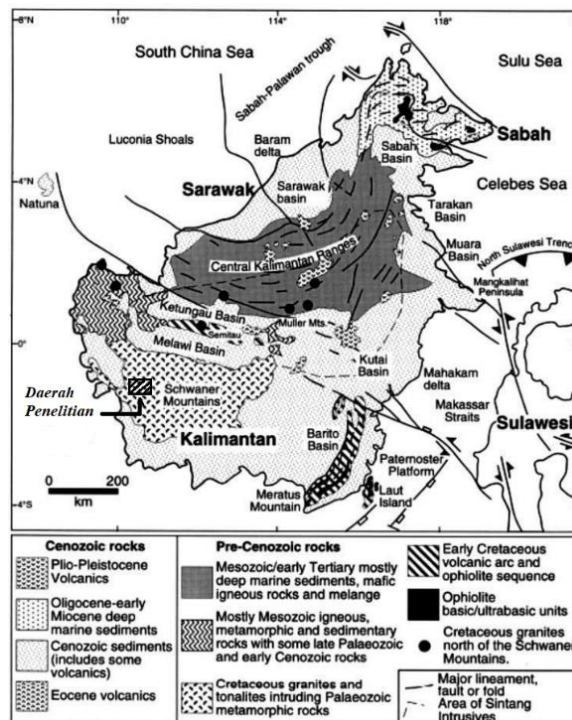
Metode interpolasi spasial IDW dan OK telah banyak diaplikasikan pada berbagai bidang untuk membuat peta distribusi spasial. Dari sudut pandang teoritis metode OK adalah metode interpolasi yang optimal. Namun dalam aplikasinya metode OK memerlukan analisa struktur spasial yang akurat melalui konstruksi semivariogram dan *fitting* model. Studi komparasi antara metode OK dan IDW telah dilakukan dalam banyak penelitian untuk mengevaluasi metode mana yang terbaik. Pada beberapa kasus, menunjukkan hasil interpolasi metode OK lebih baik dibandingkan dengan metode IDW, tetapi pada kasus yang lain terjadi sebaliknya [10]. Penelitian di suatu daerah padang rumput di wilayah Wicpepin, Australia Barat menunjukkan bahwa hasil interpolasi nilai pH dalam *top soil* dengan metode OK lebih baik dibandingkan dengan metode IDW, tetapi sebaliknya hasil interpolasi pada zona *sub soil* dengan metode IDW lebih akurat dibandingkan dengan metode OK [5]. Pemetaan sebaran kadar Al_2O_3 dan SiO_2 pada endapan laterit bauksit di sekitar daerah penelitian, di kecamatan Sandai, kabupaten Ketapang, Provinsi Kalimantan Barat, telah dilakukan menggunakan metode geostatistik OK, dengan hasil interpolasi menunjukkan distribusi kadar $Al_2O_3 > 45\%$ cenderung menyebar kearah tenggara [11].

Dalam penelitian ini bertujuan untuk memetakan sebaran spasial kadar Al_2O_3 dan $RSiO_2$ pada endapan laterit bauksit menggunakan metode interpolasi *ordinary kriging* (OK) dan *inverse distance weighting* (IDW), serta membandingkan performa kedua metode tersebut.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi dan Geologi Daerah Penelitian

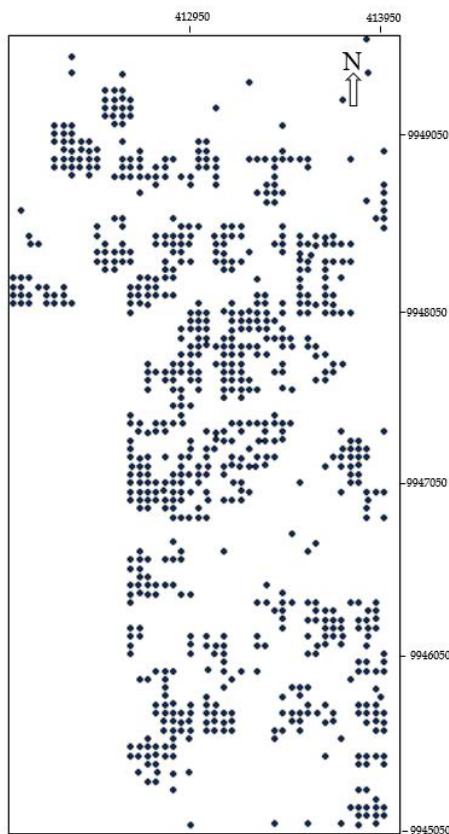
Daerah penelitian terletak di kecamatan Simpang Hulu, kabupaten Ketapang, Propinsi Kalimantan Barat (Gambar1). Secara geologi daerah ini berada di pegunungan schwaner yang ditempati oleh batuan beku, dengan komposisi granit, sampai tonalit yang mengintrusi batuan batuan metamorfik yang berumur Paleozoik [12]. Endapan bauksit di daerah Ketapang dan sekitarnya terbentuk dari proses lateritisasi batuan granitoid dengan komposisi intermediet [13]. Bauksit ini dicirikan oleh hadirnya mineral *gibbsite* dan secara umum tidak terdapat *boehmite* dan *diaspore*, sehingga cocok untuk diproses menggunakan metode bayer dalam pemurniannya [14].



Gambar 1: Lokasi daerah penelitian dan geologi regional pulau Kalimantan [12]

2.2 Sampling dan Analisa Kadar

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data sampling sumur uji (*test pit*) pada tahap eksplorasi detail. Lokasi sumur uji dan sampling dibuat secara sistematis dengan pola grid dengan jarak antar lokasi sumur uji sejauh 50m (Gambar 2). Total jumlah sumur uji adalah 776 titik dengan ketebalan lapisan bauksit bervariasi mulai dari 0,3m sampai 4,6m. Analisa geokimia kadar Al_2O_3 , dan RSiO_2 dilakukan pada setiap sampel yang diambil dari sumur uji dengan interval 1m. Sampel yang diperoleh dari sumur uji tersebut kemudian dilakukan pengujian dengan teknik *spektrofotometris* serapan atom atau *atomic absorption spectrophotometri* (AAS). Penentuan koordinat setiap lokasi sumur uji ditentukan dengan menggunakan *global positioning system* (GPS) dengan tingkat kesalahan (*precision error*) $\pm 3\text{m}$.



Gambar 2: Sebaran lokasi sumur uji di daerah penelitian

2.2 Pengolahan data

Pengolahan data dilakukan dengan beberapa tahapan dimulai dengan validasi data dengan melakukan pengecekan data pada setiap lokasi sumur uji untuk mengidentifikasi kemungkinan kesalahan nilai kadar hasil analisa geokimia dan koordinat yang tidak logis pada setiap data. Dalam proses pengolahan data dengan menggunakan aplikasi perangkat lunak (*software*) dua dimensi, diperlukan satu nilai kadar komposit pada setiap lokasi titik sampel atau sumur uji untuk dijadikan basis data, sehingga perlu dilakukan penentuan nilai kadar rata-rata tertimbang pada setiap lokasi sumur uji. Selanjutnya data disajikan dalam deskripsi statistik meliputi nilai maksimum dan minimum, nilai rata-rata, standar deviasi, *skewness*, koefisien variansi, dan jumlah data komposit. Pada himpunan data dengan nilai *skewness* >1 akan dilakukan transformasi untuk memperoleh distribusi data menjadi normal atau mendekati normal, sehingga hasil interpolasi teknik kriging menjadi optimal [15].

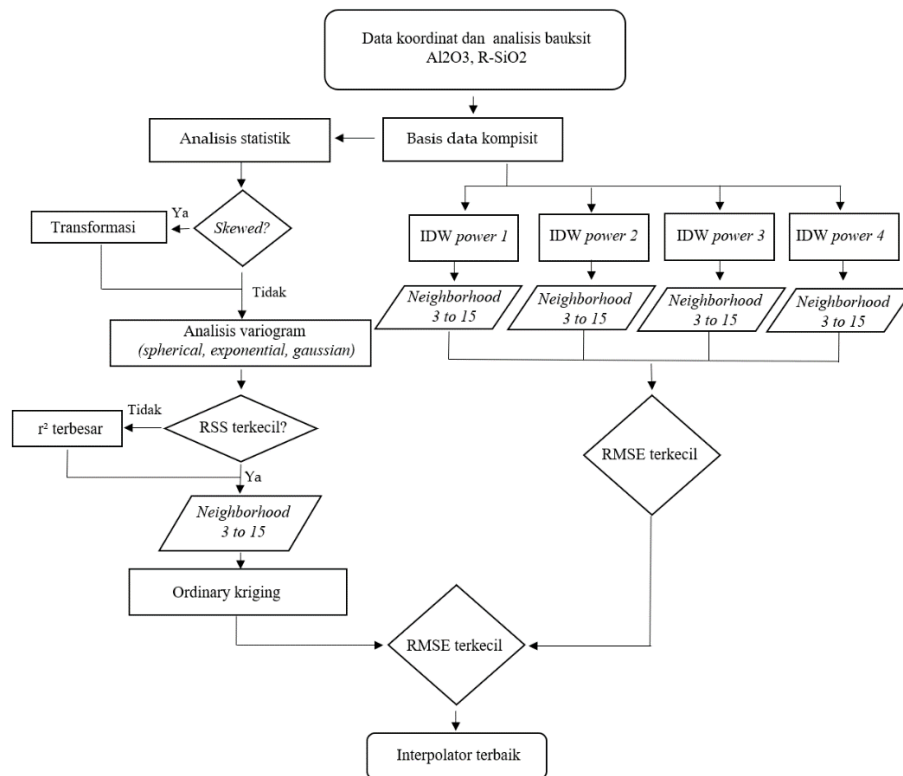
Proses estimasi metode *ordinary kriging* (OK) dimulai dari studi variogram untuk variabel Al_2O_3 dan RSiO_2 . Studi variogram ini dilakukan untuk mengetahui korelasi spasial antar data, yang selanjutnya akan digunakan untuk proses estimasi dengan teknik OK. Pemilihan variogram dilakukan dengan menggunakan parameter *residual sum of square* (RSS) dan koefisien determinasi (r^2). Sedangkan tahapan proses interpolasi metode IDW dilakukan lebih sederhana tanpa menggunakan variogram. Dalam penelitian ini teknik interpolasi IDW menggunakan *power* 1, 2, 3 dan *power* 4. Evaluasi metode interpolasi didasarkan pada nilai RMSE, dimana metode dengan nilai RMSE terkecil dianggap sebagai metode terbaik [6, 11]. Gambar 3 menunjukkan diagram pengolahan data spasial pada penelitian ini.

2.2.1 Kadar Komposit

Kadar rata-rata tertimbang atau kadar komposit adalah jumlah kadar pada setiap sampel dikalikan dengan panjang interval sampel dibagi dengan jumlah panjang interval seluruh sampel pada satu lokasi sumur uji. Persamaan kadar komposit dinyatakan sebagai berikut [16]:

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

dimana: \bar{g} adalah kadar komposit t_i adalah Panjang interval sampel (m) dan g_i adalah kadar sampel pada interval- i



Gambar 3: Diagram pengolahan data spasial

2.2.2 Metode Ordinary Kriging dan Inverse Distance Weighting

Ordinary kriging (OK) dan *inverse distance weighting* (IDW) adalah metode interpolasi spasial yang populer digunakan dalam bidang studi lingkungan [11] dan telah diterima secara luas dalam industri pertambangan khususnya bidang estimasi sumberdaya atau cadangan, dan *mining grade control* [10]. Kedua metode OK dan IDW ini dikembangkan berdasarkan asumsi bahwa nilai sampel pada lokasi yang lebih dekat mempunyai korelasi lebih besar dan lebih mirip dibandingkan dengan sampel yang letaknya lebih jauh.

Ordinary kriging (OK) adalah metode interpolasi geostatistik berdasarkan varian yang bergantung secara spasial, yang menghasilkan estimasi nilai yang tidak bias di lokasi target yang di taksir. OK memberikan estimasi suatu titik lokasi yang tidak tersampling berdasarkan rata-rata tertimbang dari data disekitarnya. Pembobotan dalam OK ditentukan berdasarkan parameter-parameter struktur spasial dari sebuah semi variogram. Semi variogram $\gamma(h)$ mengukur rata-rata variabilitas antara dua titik x dan $x+h$ sebagai fungsi dari jaraknya h . Semi variogram eksperimental dihitung dengan beberapa jarak lag untuk kemudian dicocokkan dengan model variogram teoritis. Dari model variogram tersebut diperoleh struktur variasi spasial dan parameter masukan untuk digunakan dalam perhitungan kriging [17]. Semivariogram eksperimental dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [16].

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

dimana: $\gamma(h)$: 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 dan h adalah suatu vektor yang menyatakan jarak antara dua titik sesuai dengan nilai lag untuk perhitungan variogram eksperimental.

Pemilihan model variogram terbaik dalam proses pencocokan (*fitting*) antara variogram eksperimental dan model variogram teoritis ditentukan berdasarkan nilai *residual sum of square* (RSS) terkecil atau nilai koefisien determinasi (r^2) terbesar [18]. Nilai RSS memberikan ukuran seberapa tepat atau sesuai antara model variogram dengan variogram eksperimental dengan cara pendekatan *try and error* untuk ukuran lag dan interval lag yang berbeda. Sedangkan nilai r^2 mengindikasikan seberapa baik suatu model sesuai dengan data variogram eksperimental. Nilai parameter r^2 digunakan untuk menentukan model variogram terbaik jika setiap model variogram menunjukkan nilai RSS yang sama. Model dengan nilai r^2 yang paling mendekati nilai satu dipilih sebagai model variogram terbaik. Persamaan RSS dan r^2 dirumuskan dengan persamaan berikut; [19]

$$RSS = \sum_{k=1}^k [\hat{Y}_{(dk)} - Y_{(dk)}]^2 \quad (3)$$

dan

$$r^2 = \frac{[\sum_{k=1}^k (Y_{(dk)} - Y_m)(\hat{Y}_{(dk)} - \hat{Y}_m)]^2}{\sum_{k=1}^k (Y_{(dk)} - Y_m)^2 \sum_{k=1}^k (\hat{Y}_{(dk)} - \hat{Y}_m)^2} \quad (4)$$

dimana $\hat{Y}_{(dk)}$: nilai variogram eksperimental dan $Y_{(dk)}$: nilai variogram model.

Ordinary kriging (OK) di hitung dengan persamaan berikut [16], Jika nilai estimasi rata-rata tertimbang yang diberikan pada lokasi yang tidak tersampling \hat{Z} , maka:

$$\hat{Z} = \sum_{i=1}^n w_i z_i \quad i=1, \dots, n \quad (5)$$

dengan jumlah faktor pembobot w_i sama dengan satu,

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (6)$$

Masing masing bobot dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sum_{i=1}^n w_i \cdot c_{ij} + \mu = c_{i,0} \quad (7)$$

dimana $c(i, j)$ adalah kovariansi antar sampel, $c(i, 0)$ adalah kovariansi antara sampel dan titik/blok, dan μ adalah pengali *lagrange*.

Metode IDW mengasumsikan bahwa jarak antara data dengan titik target yang diestimasi adalah proporsional terhadap kesamaan dan tingkat korelasinya [20]. Nilai bobot untuk sampel akan turun dengan bertambahnya jarak antara sampel tersebut terhadap titik target yang ditaksir. Pembagian nilai bobot juga ditentukan oleh nilai *power*, pada IDW dengan nilai *power* besar akan memberikan bobot yang lebih kecil pada data yang letaknya lebih jauh, sedangkan pada IDW dengan nilai *power* yang lebih kecil akan mendistribusikan bobot yang lebih seragam pada setiap sampel. Dalam proses perhitungannya metode IDW hanya mempertimbangkan jarak antara lokasi sampel dengan titik target yang di taksir, dan tidak mempertimbang hubungan spasial antar lokasi sampel. Metode IDW berfungsi paling baik jika sampel-sampel atau data terdistribusi secara merata pada suatu area tertentu [10]. Faktor faktor yang mempengaruhi akurasi hasil interpolasi IDW adalah; nilai *power*, jarak sampel terhadap titik target yang ditaksir, dan jumlah sampel atau data yang diikutkan dalam perhitungan. IDW dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [16]:

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

dan,

$$\hat{Z}_0 = \sum_{i=1}^n w_i \cdot Z_i \quad (9)$$

dimana: \hat{Z}_0 : Nilai yang diestimasi di lokasi target, \hat{Z}_0 , w_i : Bobot sample di lokasi i . d_i : Jarak antara lokasi i dan lokasi target, k : Parameter *power*, Z_i : Nilai sample di lokasi i . Nilai *power* yang digunakan bervariasi pada umumnya yang direkomendasikan mulai dari 1 sampai 4 [10]. Pemilihan nilai *power* adalah penting karena sebagai salah satu faktor utama yang mempengaruhi akurasi hasil interpolasi dari IDW.

2.2.3 Cross Validasi

Teknik statistik *cross-validasi* dapat digunakan untuk membandingkan hasil prediksi dari dua metode interpolasi. Dalam penelitian ini performa metode OK dan IDW ditentukan berdasarkan pengujian perbedaan

antara hasil data prediksi dengan data aktual, menggunakan parameter statistik *root mean square error* (RMSE), dan *mean error* (ME). Metode interpolasi dengan nilai RMSE terkecil dan nilai ME yang paling mendekati nilai nol menunjukkan bahwa model mempunyai nilai kesalahan (*error*) yang lebih kecil dan hasil estimasinya lebih akurat [5]. Model persamaan RMSE dan ME dinyatakan sebagai berikut

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Z}(x_i) - Z(x_i))^2} \quad (10)$$

dan,

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

dimana $\hat{Z}(x_i)$: nilai estimasi, $Z(x_i)$: nilai pengukuran, dan n : jumlah data prediksi.

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1 Analisis statistic

Analisis statistik dilakukan pada nilai rata rata tertimbang (komposit) kadar Al₂O₃ dan RSiO₂ dari sampel yang dikoleksi dari setiap sumur uji pada zona bauksit. Nilai kadar rata rata tertimbang ditentukan dengan menggunakan persamaan (1). Analisis ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik data yang digunakan dalam penelitian ini. Tabel 1 menunjukkan hasil analisis statistik kadar komposit Al₂O₃ dan RSiO₂ lapisan bauksit. Dalam tabel tersebut menunjukkan dispersi standar deviasi yang rendah untuk RSiO₂ yaitu 1,93 dan menunjukkan nilai dispersi yang lebih tinggi pada Al₂O₃ yaitu 3,27. Nilai koefisien variansi (CV) mengindikasikan variabilitas yang rendah untuk Al₂O₃ yaitu 0,07 dan variabilitas sedang untuk RSiO₂ yaitu 0,5. Sedangkan nilai koefisien *skewness* menunjukkan nilai >1 yaitu -1,51 untuk Al₂O₃ dan 1,14 untuk RSiO₂ sehingga perlu dilakukan transformasi, untuk mendapatkan distribusi data menjadi normal atau mendekati normal, untuk diaplikasikan dalam teknik interpolasi *ordinary kriging* [5].

Tabel 1: Hasil analisis statistik kadar Al₂O₃ dan RSiO₂

Variabel	Min	Max	Mean	Std dev	CV	Skewness	n
Al ₂ O ₃	23.54	57.19	49.011	3.27	0.07	-1.51	772
RSiO ₂	0	13.5	3.88	1.93	0.5	1.14	772

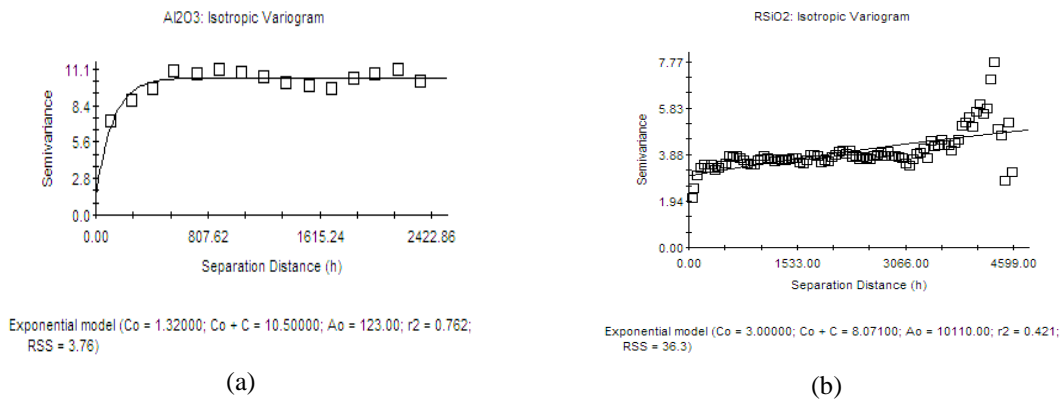
3.2 Model variogram untuk analisis OK

Dalam penelitian ini analisis variogram eksperimental dilakukan dengan menggunakan basis data komposit kadar Al₂O₃ dan RSiO₂ menggunakan persamaan (2). Analisis struktural dilakukan menggunakan geometri isotropi dengan tiga model variogram yang dievaluasi, yaitu; *spherical*, *exponential* dan *gaussian*. *Fitting* variogram eksperimental terhadap ketiga model variogram tersebut dilakukan dengan menggunakan parameter RSS, yang dihitung dengan persamaan (3), atau r^2 yang dihitung dengan persamaan (4). Variogram dengan nilai RSS terkecil dipilih sebagai yang terbaik, atau jika parameter RSS mempunyai nilai yang sama maka variogram dengan nilai r^2 tertinggi yang dipilih sebagai variogram terbaik [18].

Tabel 2, menyajikan model variogram, nilai r^2 , dan RSS kadar Al₂O₃ dan RSiO₂. Tabel tersebut menunjukkan bahwa model variogram *exponential* mempunyai nilai RSS terkecil bila dibandingkan dengan model variogram *spherical* maupun *gaussian*, dengan nilai RSS Al₂O₃ = 3,76, dan RSiO₂ = 36,3. Berdasarkan nilai RSS tersebut maka model *exponential* dipilih sebagai variogram terbaik, untuk selanjutnya digunakan dalam proses estimasi dengan teknik interpolasi OK. Gambar 1, menunjukkan model variogram terbaik, *exponential*, hasil *fitting* untuk kadar Al₂O₃ dan RSiO₂.

Tabel 2: Model variogram dengan nilai r^2 dan RSS

Variabel	Variogram	r^2	RSS
Al ₂ O ₃	Spherical	0.437	6.25
	Exponential	0.427	3.76
	Gaussian	0.428	6.15
RSiO ₂	Spherical	0.114	55.8
	Exponential	0.421	36.3
	Gaussian	0.111	56.1

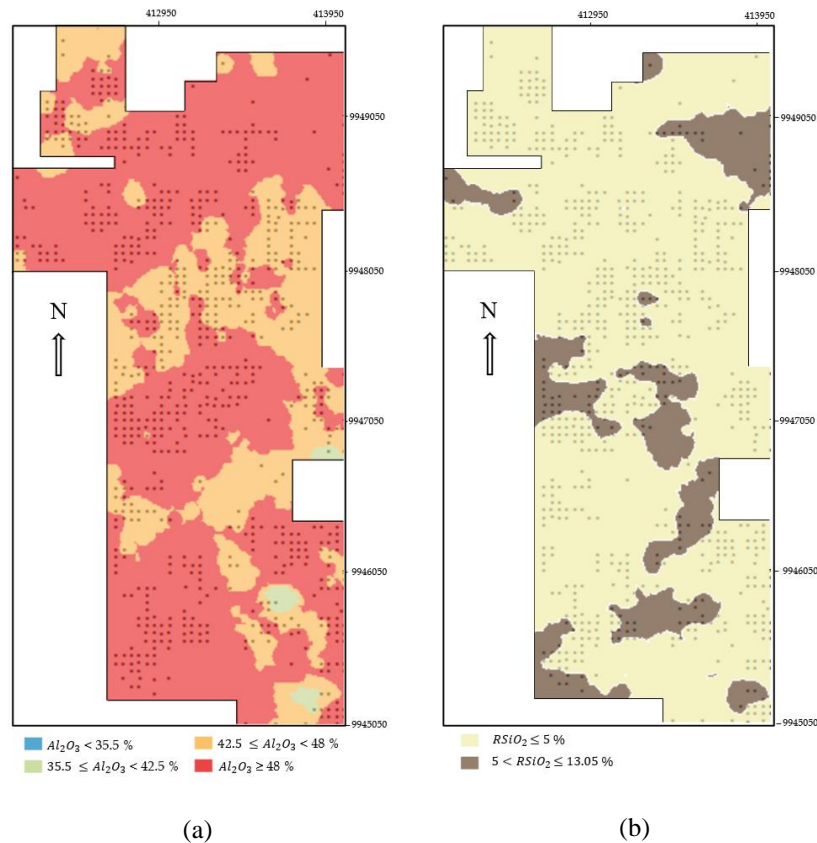


Gambar 1: Hasil *fitting* model variogram terbaik (a) *exponential* untuk Al₂O₃, (b) *exponential* untuk RSiO₂

3.3 Ordinary kriging (OK)

Estimasi dengan teknik OK dilakukan menggunakan basis data komposit Al₂O₃ dan RSiO₂ dengan jumlah data yang digunakan dalam penaksiran maksimum 15 data dan minimum 3 data, serta *search area* 123 m sesuai dengan nilai *range* terkecil dari variogram yang dipilih yaitu *exponential* (Gambar 1). Dalam penelitian ini proses interpolasi dilakukan menggunakan metode *point* kriging dengan variogram eksponensial isotropi, dan dalam perhitungannya menggunakan persamaan (5) dan (6). Gambar 2 menunjukkan sebaran spasial kadar Al₂O₃ dan RSiO₂ hasil estimasi metode interpolasi OK menggunakan model variogram terbaik, *exponential*.

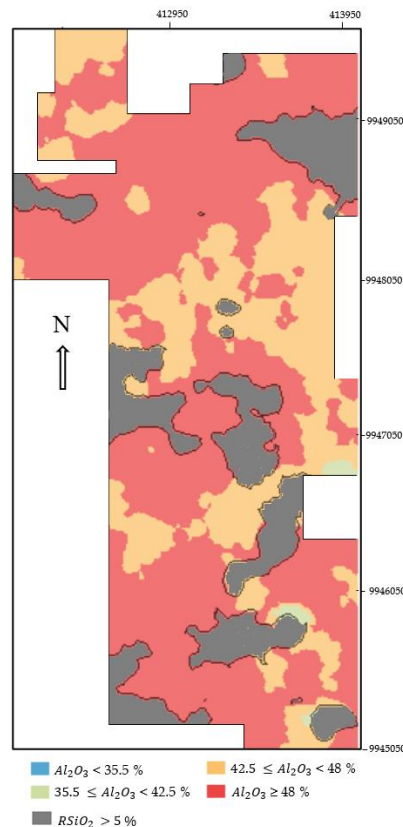
Gambar 2 (a) menunjukkan sebaran konsentrasi Al₂O₃ dengan kadar $\geq 48\%$ (warna merah) menempati sebagian besar daerah penelitian, tersebar dibagian utara, bagian selatan, dan di bagian tengah, menempati area seluas $\pm 60\%$ dari daerah penelitian. Sedangkan sebaran konsentrasi kadar Al₂O₃ dengan kadar 42,5–45% (warna kuning) sebagian besar sebaran sebaran sebaran menempati di bagian tengah, menyempit di bagian utara, dan sedikit di bagian utara, dengan total sebaran menempati area seluas $\pm 37\%$ dari daerah penelitian. Untuk Al₂O₃ dengan kadar rendah antara 35,5 - 42,5% menempati area secara terbatas di bagian selatan $\pm 3\%$ dari luas daerah penelitian.



Gambar 2: Peta distribusi spasial hasil interpolasi metode OK (a) kadar Al₂O₃ dan (b) kadar RSiO₂

Gambar 2 (b) adalah peta distribusi spasial kadar RSiO₂, menunjukkan distribusi konsentrasi RSiO₂ kadar rendah ($\leq 5\%$) menempati kurang lebih 70% dari total luas daerah penelitian (warna kuning), dan konsentrasi RSiO₂ kadar tinggi ($>5\%$) menempati secara terpisah pisah di daerah tengah, daerah timur, dan daerah selatan kurang lebih 30% dari luas daerah penelitian (warna coklat).

Gambar 3 menunjukkan peta perpaduan sebaran kadar Al₂O₃ dan RSiO₂ kadar tinggi $> 5\%$. Peta ini menunjukkan sebaran Al₂O₃ kadar tinggi $\geq 48\%$ dengan kandungan RSiO₂ rendah ($\leq 5\%$) menempati daerah seluas kurang lebih 50% (warna merah). Distribusi konsentrasi Al₂O₃ kadar tinggi ($\geq 48\%$) dengan RSiO₂ kadar rendah ($\leq 5\%$) ini secara spasial masih terbuka kearah utara, kearah barat, dan kearah tenggara dari daerah penelitian. Jika diasumsikan bahwa perpaduan kadar Al₂O₃ dan RSiO₂ tersebut sebagai nilai *cut off grade* untuk bijih alumina, maka potensi mineralisasi dan tambahan sebaran bijih masih terbuka kearah tersebut.



Gambar 3: Peta sebaran spasial kadar Al₂O₃ dan RSiO₂ dengan kadar $> 5\%$ hasil interpolasi OK

3.4 Inverse distance weighting (IDW)

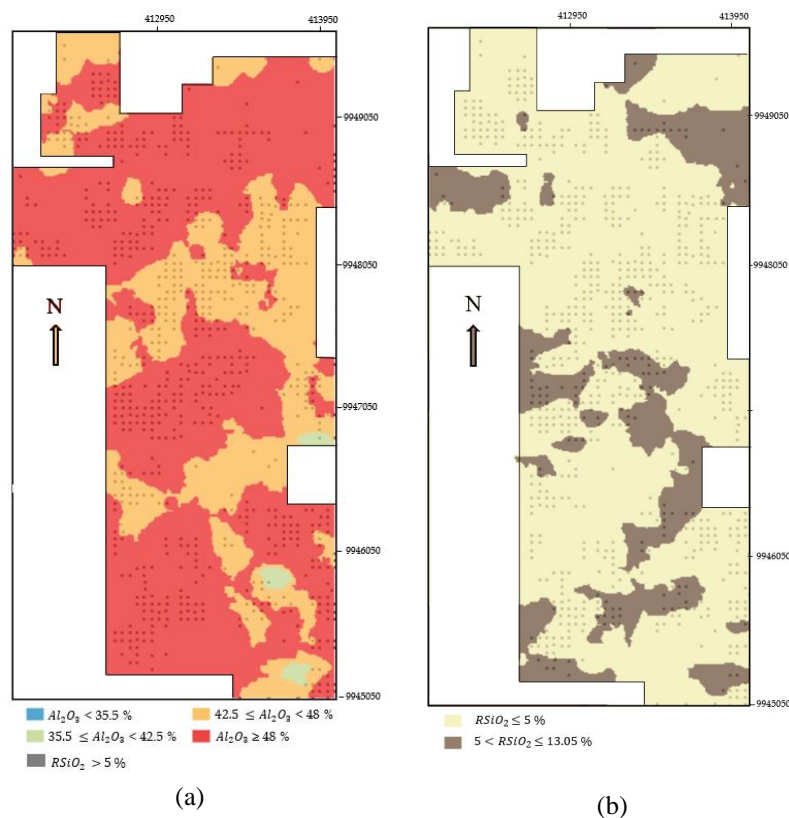
Proses estimasi metode IDW dilakukan dengan menggunakan basis data dan parameter yang sama dengan proses penaksiran pada metode OK, dimana jumlah maksimum data yang digunakan dalam penaksiran adalah 15 data dan minimum 3 data, dan *search area* 123m. Proses estimasi metode IDW dihitung dengan persamaan (8) dan (9), dan diuji dengan menggunakan empat nilai *power* yaitu *power* 1, 2, 3 dan *power* 4 [10]. Pemilihan nilai *power* terbaik diambil berdasarkan pada nilai RMSE yang paling kecil dan nilai ME yang paling mendekati nilai nol [5]. Tabel 3 menunjukkan bahwa untuk variabel Al₂O₃ dan RSiO₂ IDW *power* 1 mempunyai nilai RMSE paling kecil, yaitu 2.843607553 untuk AL₂O₃ dan 1.722538098 untuk RSiO₂, dan nilai ME paling mendekati nol, yaitu 0.043576272 untuk AL₂O₃ dan -0.033712311 untuk RSiO₂, dibandingkan dengan nilai RMSE dan ME pada IDW *power* 2, 3 dan *power* 4. Hal ini menunjukkan bahwa hasil prediksi metode IDW *power* 1 mempunyai nilai kesalahan yang lebih kecil dan lebih akurat [5] dibandingkan dengan hasil prediksi IDW *power* 2, *power* 3, dan *power* 4.

Tabel 3: Nilai ME dan RMSE hasil interpolasi metode IDW

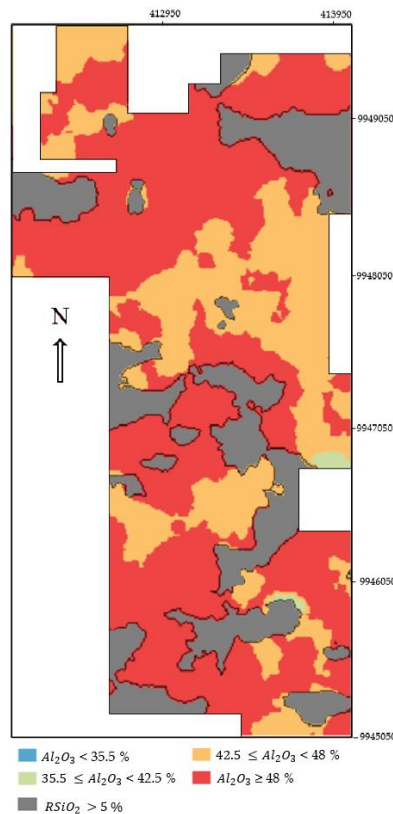
Variabel	Metode	ME	RMSE
Al_2O_3	IDW 1	0.0435762	2.8436075
	IDW 2	0.0490097	2.8679326
	IDW 3	0.0485268	2.9255088
	IDW 4	0.0485850	2.9884533
$RSiO_2$	IDW 1	-0.0337123	1.7225380
	IDW 2	-0.0341751	1.7351850
	IDW 3	-0.0351060	1.7679871
	IDW 4	-0.0368659	1.8076065

Gambar 4 adalah peta distribusi kadar konsentrasi Al_2O_3 dan $RSiO_2$ hasil interpolasi IDW *power* 1. Pada gambar 4 (a) daerah dengan warna merah menunjukkan pola sebaran Al_2O_3 dengan kadar $\geq 48\%$ menempati sebagian besar daerah penelitian seluas $\pm 57\%$, tersebar dibagian utara, bagian tengah, dan di bagian selatan daerah penelitian. Sedangkan daerah yang berwarna kuning menempati $\pm 40\%$ dari daerah penelitian, menunjukkan sebaran konsentrasi kadar Al_2O_3 dengan kadar 42,5–45%. Untuk daerah berwarna hijau muda menunjukkan sebaran Al_2O_3 dengan konsentrasi kadar rendah antara 35,5 - 42,5% menempati area secara terbatas dan terpisah menjadi tiga di bagian selatan $\pm 3\%$ dari luas daerah penelitian.

Gambar 4 (b) adalah peta distribusi spasial kadar $RSiO_2$, daerah warna kuning menunjukkan distribusi konsentrasi $RSiO_2$ yang rendah dengan kadar $\leq 5\%$ menempati $\pm 65\%$ dari total luas daerah penelitian, dan warna kuning adalah sebaran konsentrasi $RSiO_2$ dengan kadar tinggi $>5\%$ secara terpisah pisah menempati daerah tengah, daerah timur, dan daerah selatan $\pm 35\%$ dari luas daerah penelitian.


 Gambar 4: Peta distribusi spasial hasil interpolasi metode IDW *power* 1 (a) kadar Al_2O_3 dan (b) kadar $RSiO_2$

Gambar 5 merupakan peta perpaduan distribusi konsentrasi Al_2O_3 dan $RSiO_2$ dengan kadar tinggi $> 5\%$. Peta ini menunjukkan sebaran Al_2O_3 dengan kadar tinggi $\geq 48\%$ dengan kandungan $RSiO_2$ rendah ($\leq 5\%$) menempati daerah seluas kurang lebih 47%, yang ditunjukkan daerah yang berwarna merah. Persebaran Al_2O_3 kadar tinggi dengan $RSiO_2$ kadar rendah secara spasial masih terbuka kearah barat dan kemungkinan juga masih menerus kearah utara dari daerah penelitian.



Gambar 5: Peta sebaran spasial kadar Al_2O_3 dan $RSiO_2$ dengan kadar $> 5\%$ hasil interpolasi IDW *power 1*

3.5 Evaluasi metode interpolasi

Untuk menguji kinerja hasil estimasi metode interpolasi OK dan metode IDW digunakan parameter ME dan RMSE. Hasil interpolasi dengan nilai ME yang lebih mendekati nilai nol dan nilai RMSE yang paling kecil dipilih sebagai metode terbaik [5, 10]. Tabel 4, menunjukkan hasil estimasi kadar Al_2O_3 menggunakan metode interpolasi OK menunjukkan RMSE dengan nilai 2.8313613, nilai ini lebih kecil dibandingkan dengan nilai RMSE dari hasil interpolasi metode IDW *power 1* yaitu 2.8436075. Demikian juga nilai ME untuk metode OK menunjukkan nilai yang lebih mendekati 0 (nol) yaitu 0.0108638, bila dibandingkan dengan nilai ME pada metode IDW yaitu 0.0435762. Berdasarkan nilai RMSE dan ME ini maka hasil prediksi kadar Al_2O_3 dengan metode interpolasi OK adalah lebih baik dibandingkan dengan metode interpolasi IDW *power 1*.

Tabel 4 juga menunjukkan bahwa hasil interpolasi kadar $RSiO_2$ dengan metode OK mempunyai nilai RMSE lebih kecil yaitu 2.8313613 dibandingkan dengan nilai RMSE hasil prediksi metode IDW *power 1* dengan nilai, 2.8436075. Nilai ME pada metode OK juga menunjukkan lebih mendekati nol yaitu -0.0099237 dibandingkan dengan nilai ME hasil interpolasi metode IDW *power 1* sama dengan 0.0337123. Dengan demikian pada penelitian ini menggunakan metode OK untuk interpolasi kadar $RSiO_2$ adalah lebih baik dibandingkan dengan metode IDW.

Gambar 3, menunjukkan peta distribusi spasial hasil interpolasi OK sebagai metode terbaik pada penelitian ini. Bila diasumsikan bahwa perpaduan kadar $Al_2O_3 \geq 48\%$ dan $RSiO_2 \leq 5\%$ sebagai nilai *cut off grade* untuk bijih alumina, maka potensi mineralisasi dan tambahan sebaran bijih masih terbuka kearah utara, kearah barat, dan kearah tenggara. Hasil penelitian terdahulu dengan menggunakan 335 data, menunjukkan bahwa sebaran bauksit dengan kadar $Al_2O_3 > 45\%$ cenderung kearah tenggara [11]. Adanya perbedaan arah sebaran kadar dapat terjadi karena perbedaan beberapa variabel antara lain; jumlah data, jenis data, lokasi data dan distribusi data.

Tabel 4: Nilai ME dan RMSE hasil interpolasi metode OK dan IDW

Variabel	Metode	ME	RMSE
Al_2O_3	OK	0.0108638	2.8313613
	IDW 1	0.0435762	2.8436075
$RSiO_2$	OK	-0.0099237	2.8313613
	IDW 1	0.0337123	2.8436075

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa estimasi metode interpolasi geostatistik OK mempunyai performa lebih baik dibandingkan dengan metode interpolasi IDW. Dengan menggunakan metode OK diperoleh bahwa distribusi spasial kadar Al₂O₃ $\geq 48\%$ dan RSiO₂ $\leq 5\%$ menempati kurang lebih 50% dari luas daerah penelitian. Jika diasumsikan *cut off grade* bijih alumina adalah Al₂O₃ $\geq 48\%$ dengan kandungan RSiO₂ $\leq 5\%$, maka potensi mineralisasi dan tambahan sebaran bijih masih terbuka kearah utara, kearah barat, dan kearah tenggara dari daerah penelitian. Pengembangan eksplorasi dan penelitian lebih detail disarankan untuk dilanjutkan kearah yang sesuai dengan potensi kemenerusan sebaran bijih di daerah penelitian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada LPPM ITNY, Kaprodi Teknik Pertambangan dan Dekan FTM Institut Teknologi Nasional Yogyakarta atas kesempatan dan dukungan yang telah diberikan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Potzolu, A. P. Papa, N. Mondillo, M. Boni, G. Balassone, and A. Mormone, "Geochemical Characterization of Bauxite Deposits from The Abruzzi Mining District (Italy), MDPI, Minerals, 8, 298, p 1-24, 2018.
- [2] Husaini, D. Amalia, Yuhelda, "Pelarutan Bijih Bauksit Dengan Soda Kaustik (NaOH) Menjadi Larutan Sodium Aluminat (NaAlO₂) Skala Pilot". Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara, Vol 12, No.3, September 2016.
- [3] M. A. Shaheen, S. I. Rana, M. I. Tariq, F. Rehman, A. Karim, N. Ahmad, and S. Murtaza, "Evaluation of Bauxite of Khushab (Pakistan) As A Raw Material for Extraction of Alumium", Pakistan Journal of Science, Vol. 62, Vol. 62, No. 2, June, p 79-83, 2010.
- [4] H. L. Keith, C. Misra, A. J. Perrotta, K. Wefers, and F. S. Williams, "Aluminum Oxide, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2005.
- [5] T. P. Robinson, G. Metternicht, "Testing the Performance of Spatial Interpolation Techniques for Mapping Soil Properties", Computer and Electronics in Agriculture 50, 97-108, 2006.
- [6] H. Purnomo, "A Practical Application of Inverse Distance Weighting Method to Identify Cobalt Anomaly Distribution in Laterite Deposit (Case Study in Block R, Wasile Subdistrict, East Halmahera)" ICITID, Yogyakarta, Indonesia, August 30, 2021.
- [7] H. Yimit, M. Eziz, M. Mamat, G. Tohti, "Variations in Groundwater Levels and Salinity in The Ili River irrigation Area, Xinjiang, Northwest China: a geostatistical approach", International Journal of Sustainable Development and Word Ecology 18 (1), 55-64, 2011.
- [8] J. Triantafyllis, I. O. A. Odeh, and A. B. McBratney, "Five Geostatistical Models to Predict Soil Salinity from Electromagnetic Induction Data Across Irrigated Cotton, Soil Sci. Soc. Am. J. 65: 869-878, 2001.
- [9] A. A. Daya, "Ordinary Kriging for The Estimation of Vein Type Copper Deposit: A Case Study of The Chelkureh, Iran", Journal of Mining and Metallurgy, 51A (1), pp 1-14, 2015.
- [10] R. E. Ouabo, A.Y. Sangodoyin, and M. B. Ogundiran, "Assesment of Ordinary Kriging and Inverse Distance Weighting Methods for Modeling Chromium and Cadmium Soil Pollution in E-Waste Sites in Douala, Cameroon", Journal of Health and Pollution, vol.10, No.26, June 2020.
- [11] D. Silitonga, D. N. Usman, Maryanto, "Estimasi Sumberdaya Bauksit Menggunakan Geostatistik dengan Metode Ordinary Kriging di PT. Inti Jaya Tambang (SIJT) Desa Sandai Kiri, Kecamatan Sandai, Kabupaten Ketapang, Provinsi Kalimantan Barat", Prosiding Teknik Pertambangan, vol. 5, No. 2, 2019.
- [12] S. J. Moss and M. E. J. Wilson, "Biogeographic Implications of The Tertiary Paleogeographic Evolution of Sulawesi and Borneo" Biogeography and Geological Evolution of SE Asia, pp.133-163, 1998.
- [13] T. Van Leewen, "Twenty-Five More Years of Mineral Exploration and Discovery in Indonesia", MGEI 10th Annivesary Special Publication, 2018.
- [14] R. I. Rafianto, A. Cahyono, Yudhaswita, A. Matano, Y. Marta, "Benefication and Mineralogical Study of Bauxite Deposits in Ketapang West Kalimantan for Optimum Bayer Alumina Refinery Process", Proceedings MGEI 8th Annual Convention, Bandung Indonesia, p.96-104, October 2016.
- [15] H. Arslan, "Spatial and Temporal Mapping of Groundwater Salinity Using Ordinary Kriging and Indicator Kriging: The Case of Bafra Plain, Turkey" Agricultural Water Management 113, pp. 57-63, 2012.
- [16] E. H. Isaaks and R. M. Srivastava, "Applied Geostatistics", Oxford University Press, New York, 1989.
- [17] N. Saby, D. Arrouays, L. Boulonne, C. Jolivet, A. Pochot, "Geostatistical assessment of Pb in soil around Paris", France, Science of the Total Environment, 367, 212-221, 2006.
- [18] G. P. Robertson, "GS+: Geostatistics for The Environmental Sciences", Gamma Design Software: Palinwell, Michigan, USA, 2008.
- [19] S. K. Adhikary, N. Muttil, A. G. Yilmaz, "Cokriging for Enhance Spatial Interpolation of Rainfall in Two Australian Catchments", Hydrological Processes, 31: 2143-2161, 2017.

- [20] J. Yasrebi, M. Saffari, H. Fathi, N. Karimian, M. Moazallahi, R. Gazni, "Evaluation and Comparison of Ordinary Kriging and Inverse Distance Weighting Methods for Prediction of Spatial Variability of Some Soil Chemical Parameters", Research Journal of Biological Sciences 4 (1): 93-102, 2009.