

# Kajian Metode *Robust Kriging* dengan *Semivarogram* Anisotropik 3 Dimensi (3D)

Devi Eka Purnamasari<sup>1</sup>, Dewi Retno Sari Saputro<sup>2</sup>

Universitas Sebelas Maret Surakarta<sup>1</sup>

Universitas Sebelas Maret Surakarta<sup>2</sup>

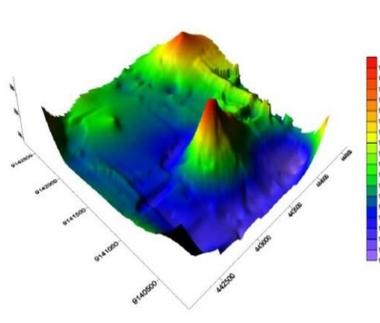
Devi.dde15@student.uns.ac.id

*Abstrak*— Metode *Kriging* merupakan salah satu metode geostatistik yang menggunakan nilai spasial pada lokasi yang diamati dan *variogram* yang digunakan untuk memprediksi nilai pada suatu lokasi yang belum atau yang tidak diamati. *Kriging* sebagai interpolasi spasial optimum yang menghasilkan nilai prediksi yang kurang presisif apabila nilai spasial tersebut terdapat pencilan atau nilai yang tidak konsisten dari data yang diamati. Data spasial yang terdapat pencilan agar dapat diprediksi maka menggunakan metode *Robust Kriging*. *Robust Kriging* merupakan perkembangan dari *Ordinary Kriging* yang mengubah bobot *semivariogram* dari *semivariogram* klasik menjadi *semivariogram* yang *robust* terhadap pencilan. Dalam perhitungan *semivariogram* anisotropik diukur dengan 4 sudut yaitu  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$  dan  $135^\circ$ , sehingga dihitung dalam volume elipsoidal. Parameter yang diperlukan untuk menghitung *semivariogram* anisotropik pada data 3 Dimensi (3D) yaitu: tiga *range* ( $a_x, a_y, a_z$ ) dan dua sudut rotasi ( $\alpha, \beta$ ). Tujuan penelitian ini melakukan kajian metode *Robust Kriging* dengan *semivariogram* anisotropik tiga Dimensi (3D). Pada penelitian ini disimpulkan bahwa data tiga Dimensi dapat dihitung menggunakan metode *Robust Kriging* dengan *semivariogram* anisotropik 3 dimensi (3D).

**Kata kunci:** *Anisotropik, Data 3D, Geostatistik, Robust Kriging, Semivariogram*

## I. PENDAHULUAN

Geostatistik muncul pada tahun 1980-an, yang merupakan gabungan dari teknik pertambangan, geologi, matematika dan statistik [3]. Geostatistik dapat memodelkan data yang kecenderungan spasial (*spasial trend*) maupun korelasi spasial (*spasial correlation*). Data memiliki 2 model yaitu 2 Dimensi (2D) dan 3 Dimensi (3D), dimana data 2 Dimensi hanya memperhatikan letak geografis (*longitude* dan *latitute*) saja. Sedangkan data 3 Dimensi tidak hanya memperhatikan letak geografis namun tempat lokasi tersebut. Menurut Abdullah [1], data 3 Dimensi memiliki kelebihan dibandingkan dengan data 2 Dimensi karena data 3 Dimensi dapat menggambarkan permukaan bumi dengan lebih baik dan memiliki resolusi yang lebih tinggi.



Gambar 1. Contoh gambar 3 Dimensi (3D).

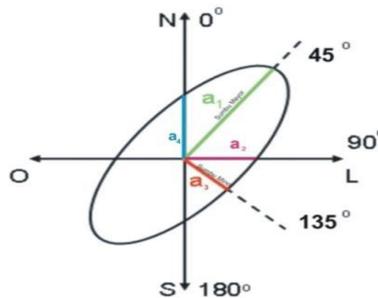
Interpolasi spasial adalah suatu metode atau fungsi matematika yang menduga nilai atribut pada lokasi-lokasi yang datanya tidak diketahui [2]. Salah satu metode interpolasi yang digunakan dalam data spasial yaitu *Kriging*. Metode *Kriging* (*Ordinary Kriging*) merupakan salah satu metode geostatistik yang menggunakan nilai spasial pada lokasi yang diamati dan *variogram* yang digunakan untuk memprediksi nilai pada suatu lokasi yang belum atau yang tidak diamati dimana nilai yang diprediksi tergantung pada

kedekatannya lokasi yang diamati. Data spasial tersebut merupakan data yang berkaitan dengan lokasi, bentuk dan berhubungan di dalam ruang bumi.

*Kriging* merupakan interpolasi spasial optimum yang menghasilkan nilai prediksi yang kurang presisi apabila nilai spasial tersebut terdapat pencilan. Pencilan merupakan nilai yang tidak konsisten dari nilai tersampel lainnya dalam kumpulan data yang diamati. Pencilan yang terjadi pada spasial adalah pencilan spasial yang menggambarkan titik amatan spasial yang berbeda secara signifikan dari tetangganya [9]. Nilai yang terdapat pencilan spasial agar dapat diprediksi menggunakan metode *Robust Kriging*.

*Robust Kriging* (RK) merupakan metode perkembangan dari *Ordinary Kriging* (OK) yang mengubah bobot *variogram* dari *variogram* klasik menjadi *variogram* yang *robust* terhadap pencilan. *Variogram* adalah suatu fungsi acak intrinsik yang menunjukkan seberapa besar perubahan perbedaan sebanding dengan peningkatan jarak. Tujuan dari *variogram* untuk memahami perbedaan kuadrat setiap titik. Pada geostatistik, terdapat alat statistik yang digunakan untuk menggambarkan, memodelkan dan menjelaskan korelasi spasial antar variabel random yaitu *semivariogram*. *Semivariogram* merupakan setengah dari *variogram*.

*Semivariogram* anisotropik merupakan *semivariogram* yang bergantung pada jarak vektor  $h$  dan memberikan nilai parameter yang berbeda pada tiap arah  $\alpha$  dan  $\beta$  yang merupakan sudut arah anisotropik [10]. Ada dua tipe *semivariogram* anisotropik yaitu anisotropik geometrik dan anisotropik zonal. *Semivariogram* anisotropik geometrik disebut juga dengan *semivariogram* anisotropik eliptikal. Pada kasus tiga dimensi, korelasi spasialnya dihitung dalam volume elipsoida. *Semivariogram* anisotropik diukur dalam 4 sudut yaitu  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  dan  $135^\circ$ .



Gambar 2. Sudut Anisotropik

dengan demikian, tujuan penelitian ini melakukan kajian *Robust Kriging* dengan *semivariogram* Anisotropik 3D.

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian berbasis teori yakni melakukan kajian Metode *Robust Kriging* dengan *Semivariogram* Anisotropik 3 Dimensi (3D). Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur yang diperoleh dari berbagai artikel, jurnal, dan buku yang mendukung dalam mencapai tujuan penelitian.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. *Kriging*

*Kriging* merupakan metode untuk mengestimasi variable terregional dengan pendekatan bahwa data yang dianalisis merupakan variabel random, dari variabel random tersebut akan membentuk suatu fungsi random menggunakan model struktural *variogram*. *Kriging* diambil dari nama seorang ahli, yaitu D.G. Krige, seorang insinyur pertambangan Afrika Selatan [8]. Metode *Kriging* digunakan oleh G. Matheron pada tahun 1960-an, untuk menonjolkan metode khusus dalam *moving average* terbobot (*weighted moving average*) yang meminimalkan varians dari hasil estimasi. *Kriging* merupakan salah satu metode geostatistik yang menggunakan nilai spasial pada lokasi yang diamati dan *variogram* yang digunakan untuk memprediksi nilai pada suatu lokasi yang belum atau yang tidak diamati dimana nilai yang diprediksi tergantung pada kedekatannya lokasi yang diamati. Metode ini digunakan untuk mengestimasi besarnya nilai variabel terregional pada titik tidak tersampel berdasarkan informasi titik tersampel yang berada disekitarnya dengan mempertimbangkan korelasi spasial yang ada dalam data tersebut.

Banyak metode yang dapat digunakan dalam metode *Kriging*, namun berdasarkan diketahui atau tidaknya *mean*, *Kriging* dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu *simple Kriging*, *ordinary Kriging*, dan *universal Kriging* [8].

1. *Simple Kriging*

Pada metode *simple Kriging* diasumsikan bahwa mean atau rata-rata sudah diketahui dan mempunyai nilai yang konstan. Metode ini dapat dikembangkan lagi, dimana data spasial yang akan diestimasi akan dipartisi menjadi beberapa bagian yang disebut metode *sequential Kriging*.

2. *Ordinary Kriging*

*Ordinary Kriging* dikenal sebagai teknik *Kriging* linier karena menggunakan kombinasi linier terbobot dari data yang tersedia untuk proses estimasi [7]. Metode *ordinary Kriging* memiliki asumsi bahwa variabel ter regional stasioner dan nilai rata-rata tidak diketahui dan bernilai konstan. Data spasial yang digunakan dalam metode *ordinary Kriging* harus tidak mengandung *trend*. Selain itu, data yang digunakan juga tidak mengandung pencilan (*outlier*).

3. *Universal Kriging*

*Universal Kriging* yang biasa disebut *Kriging with a Trend* yang merupakan metode *Kriging* yang mempunyai kecenderungan *trend* dan merupakan bentuk umum dari *simple Kriging*. Metode *Kriging with a trend* ini digunakan untuk menangani masalah yang tidak stasioner dari data yang diambil [14].

B. *Data Spasial*

Data spasial merupakan data yang diperoleh dari hasil pengukuran yang berisi informasi tentang lokasi dan pengukuran, yang disajikan dalam bentuk posisi geografis dari objek, lokasi, hubungan dengan objek-objek lainnya [9]. Data spasial menggunakan titik koordinat dan luasan pada objek tersebut, dan data ini dapat berisi data diskrit maupun kontinu. Data spasial merupakan salah satu model data dependen (tak bebas), karena data spasial dikumpulkan dari lokasi berbeda yang mengindikasikan ketergantungan antara pengukuran data dengan lokasi [3].

C. *Autokorelasi Spasial*

Autokorelasi spasial adalah adanya hubungan atau korelasi antar anggota seri pengamatan yang terurut berdasarkan waktu atau pada diri sendiri. Autokorelasi spasial memiliki 2 jenis yaitu autokorelasi spasial positif dan autokorelasi spasial negatif. Autokorelasi spasial bernilai positif apabila terjadi kemiripan nilai antara daerah yang diamati dengan daerah lain yang berdekatan, sedangkan autokorelasi spasial bernilai negatif apabila tidak terjadi kemiripan nilai antara daerah yang diamati dengan daerah lainnya yang berdekatan [11]. Autokorelasi spasial dapat dideteksi melalui uji *Moran's I*.

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

dengan  $n$  adalah banyaknya titik tersampel,  $x_i$  adalah data pada lokasi ke- $i$ ,  $x_j$  adalah data pada lokasi ke- $j$ ,  $\bar{x}$  adalah rata-rata data dan  $w_{ij}$  adalah matrik pembobot.

D. *Anisotropik*

Anisotropik merupakan *semivariogram* yang bergantung pada jarak vektor dan memberikan nilai parameter yang berbeda pada tiap arah  $\alpha$  dan  $\beta$  [9]. Ada dua tipe *semivariogram* anisotropik yaitu anisotropik geometrik dan anisotropik zonal. *Semivariogram* anisotropik geometrik disebut juga dengan *semivariogram* anisotropik eliptikal. *Semivariogram* anisotropik geometrik atau eliptikal jika pada semua arah sudut anisotropik dan *range* yang berbeda mempunyai nilai *sill* sama. Sedangkan *semivariogram* anisotropik zonal jika semua arah sudut anisotropik dan *sill* yang berbeda mempunyai nilai *range* yang sama.

Pada kasus 3 Dimensi (3D), korelasi spasialnya dihitung dalam volume elipsoida. Ada lima parameter yang dibutuhkan dalam elipsoida yaitu: tiga *range* ( $a_x, a_y, a_z$ ) dan dua sudut rotasi ( $\alpha, \beta$ ) yang merupakan arah sumbu anisotropik [9]. Misalkan  $s = (x_i, y_i, z_i) \in \mathbb{R}^3, i, j = 1, 2, \dots, n$  diperoleh vektor  $\mathbf{h}$ .

$$\mathbf{h} = \langle x_i - x_j, y_i - y_j, z_i - z_j \rangle \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

Pada model *semivariogram* anisotropik, vektor tersebut dilakukan transformasi yang berkaitan dengan korelasi spasial terhadap arah sudut anisotropik dengan *range* masing-masing adalah  $a_x$  pada arah *Latitude*, *range*  $a_y$  pada arah *Longitude* dan *range*  $a_z$  pada tempat lokasi sehingga diperoleh

$$\mathbf{h}^* = \begin{bmatrix} \frac{1}{a_x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{a_y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{a_z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \beta & \cos \alpha \sin \beta & \sin \beta \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ -\cos \alpha \sin \beta & -\sin \alpha \sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i - x_j \\ y_i - y_j \\ z_i - z_j \end{bmatrix} \quad (2)$$

dan panjang vektor  $\mathbf{h}^*$  dinyatakan sebagai:

$$|\mathbf{h}^*| = \sqrt{\left(\frac{(x_i - x_j) \cos \alpha \cos \beta + (y_i - y_j) \sin \alpha \cos \beta + (z_i - z_j) \sin \beta}{a_x}\right)^2 + \left(\frac{-(x_i - x_j) \sin \alpha + (y_i - y_j) \cos \alpha}{a_y}\right)^2 + \left(\frac{-(x_i - x_j) \cos \alpha \sin \beta - (y_i - y_j) \sin \alpha \sin \beta + (z_i - z_j) \cos \beta}{a_z}\right)^2} \quad (3)$$

Berdasarkan hal tersebut diperoleh model *semivariogram* anisotropik yang konsisten yang dikenal dengan isotropik ekuivalen  $\gamma(|\mathbf{h}^*|)$ . Misalkan model *semivariogram* yang dipilih adalah eksponensial:

$$\gamma(|\mathbf{h}^*|) = c \left[ 1 - \exp \left[ - \sqrt{\left(\frac{(x_i - x_j) \cos \alpha \cos \beta + (y_i - y_j) \sin \alpha \cos \beta + (z_i - z_j) \sin \beta}{a_x}\right)^2 + \left(\frac{-(x_i - x_j) \sin \alpha + (y_i - y_j) \cos \alpha}{a_y}\right)^2 + \left(\frac{-(x_i - x_j) \cos \alpha \sin \beta - (y_i - y_j) \sin \alpha \sin \beta + (z_i - z_j) \cos \beta}{a_z}\right)^2} \right] \right] \quad (4)$$

#### E. Variogram dan semivariogram

*Variogram* adalah metode analisis keragaman data spasial yang didasarkan pada pengukuran jarak. *Variogram* memberikan informasi mengenai sejauh mana suatu titik tidak memiliki korelasi dengan titik lain. Analisis *variogram* dilakukan ketika asumsi stasioner. *Semivariogram* merupakan setengah dari *variogram*, dimana untuk menunjang adanya pencilan dalam data spasial maka digunakan *variogram Robust* yang ditulis dengan

$$2\gamma(h) = \frac{\frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{|N(h)|} \sum_{n=1}^{N(h)} |Z(s_i) - Z(s_i + h)|^{\frac{1}{2}} \right\}^4}{\left(0.457 + \frac{0.494}{|N(h)|}\right)} \quad (5)$$

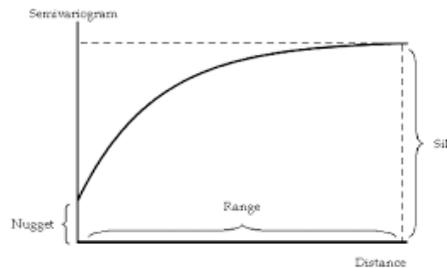
dan model *semivariogram Robust* yaitu

$$\gamma(h) = \frac{\frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{|N(h)|} \sum_{n=1}^{N(h)} |Z(s_i) - Z(s_i + h)|^{\frac{1}{2}} \right\}^4}{2 \left(0.457 + \frac{0.494}{|N(h)|}\right)} \quad (6)$$

dengan

- $2\gamma(h)$  : nilai *variogram robust* dengan jarak  $h$ .
- $\gamma(h)$  : nilai *semivariogram robust* dengan jarak  $h$ .
- $s_i$  : indeks parameter lokasi ke  $i$ .
- $Z(s_i)$  : nilai observasi di lokasi  $s_i$ .
- $N(h)$  : banyaknya pasangan lokasi yang dipisahkan oleh jarak vektor  $\mathbf{h}$ .

Menurut Rozalia dkk. [8], beberapa parameter yang digunakan untuk menentukan nilai dalam *semivariogram* teoritis adalah *nugget effect*, *sill*, dan *range*. *Nugget effect* ( $C_0$ ) merupakan pendekatan nilai *semivariogram* pada jarak sekitar nol, *sill* ( $C_0 + C$ ) adalah saat dimana nilai *semivariogram* cenderung mencapai nilai yang stabil. *Range* ( $h$ ) merupakan jarak pada saat *semivariogram* mencapai nilai *sill* yang diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik *Semivariogram*.

Model *semivariogram* teoritis yang umum digunakan yaitu model *Spherical*, model *Gaussian*, dan model Eksponensial [14].

1. Model *Spherica* (Bola) :

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \left[ \left( \frac{3h}{2a} \right) - \left( \frac{h}{2a} \right)^3 \right], & \text{untuk } h \leq a \\ C_0 + C & , \text{untuk } h > a \end{cases} \quad (7)$$

2. Model Eksponensial

Pada model eksponensial terjadi peningkatan dalam *semivariogram* yang sangat curam dan mencapai nilai *sill* secara asimtotik (tidak sebanding). Rumus model eksponensial:

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[ 1 - \exp\left(-\frac{3h}{a}\right) \right] \quad (8)$$

3. Model *Gauss*

Model *gauss* merupakan bentuk kuadrat dari eksponensial sehingga menghasilkan bentuk parabolik pada jarak yang dekat. Rumus model *Gauss* :

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[ 1 - \exp - \left( \frac{3h}{a} \right)^2 \right] \quad (9)$$

#### F. *Estimasi Robust Kriging*

*Kriging* merupakan salah satu metode geostatistik yang menggunakan nilai spasial pada lokasi yang diamati dan *variogram* yang digunakan untuk memprediksi nilai pada suatu lokasi yang belum atau yang tidak diamati dimana nilai yang diprediksi tergantung pada kedekatannya lokasi yang diamati. Nilai yang diprediksi mengandung data penciran maka dapat menggunakan Metode *Robust Kriging*. Metode *Robust Kriging* (RK) merupakan metode perkembangan dari *Ordinary Kriging* (OK) yang mengubah bobot *variogram* dari *variogram* klasik menjadi *variogram* yang *robust* terhadap penciran.

Pada estimasi data spasial, hasil analisis dari *semivariogram* teoritis dengan nilai MSE (*Mean Square Error*) terkecil akan digunakan untuk menentukan bobot dari lokasi-lokasi yang tersampel terhadap lokasi yang akan diestimasi. Besarnya nilai bobot pada lokasi tersampel ditulis dalam bentuk matriks sebagai berikut

$$C.W = D \tag{10}$$

$$\begin{bmatrix} Cz_{ij} & \dots & Cz_{in} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ Cz_{nj} & \dots & Cz_{nn} & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Cz_{k0} \\ \vdots \\ Cz_{n0} \\ 1 \end{bmatrix}, \tag{11}$$

dengan,

- $Cz_{ij}$  : nilai *semivariogram* teoritis dari lokasi ke-i dan lokasi ke-j dari lokasi tersampel.
- $Cz_{k0}$  : nilai *semivariogram* teoritis dengan jarak antara lokasi tersampel dan tidak tersampel

Matriks  $C$  merupakan *nonsingular*, yang merupakan matrik bujur sangkar dan  $\det(C) \neq 0$ , sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut

$$w = C^{-1}.D \tag{12}$$

dengan,

- $w$  : nilai bobot dari semua lokasi tersampel,
- $C^{-1}$  : *invers* dari matriks *semivariogram* teoritis dari lokasi tersampel,
- $D$  : matrik *semivariogram* teoritis dari lokasi tersampel.

Estimasi *Kriging*  $Z^*(s_0)$  termasuk dalam kombinasi linear, yang berarti bahwa penjumlahan dari hasil kali anggota himpunan pasangan berurutan dari variabel  $Z(s_i)$  yang tersampel dalam data spasial, model dari pendugaan metode *Robust Kriging* yaitu

$$Z^*(s_0) = \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha} Z(s_{\alpha}) \tag{13}$$

dengan,

- $n$  : banyaknya sampel data untuk diestimasi,
- $\lambda_i$  : pembobotan pada titik sampel  $s_i$ ,
- $Z(s_i)$  : nilai pengamatan dari  $(s_i)$ .

Setelah melakukan pendugaan parameter dilakukan validasi model, dengan tujuan apakah model tersebut akurat atau tidak. Ukuran yang umum untuk validasi model adalah *Root Mean Square* (RMSE). Rumus RMSE yaitu :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(z_f - z_a)^2}{n}}, \tag{14}$$

dengan,

- $z_f$  : nilai prediksi,
- $z_a$  : nilai aktual,
- $n$  : jumlah data.

#### IV. SIMPULAN DAN SARAN

##### A. Simpulan

*Kriging* merupakan salah satu metode geostatistik yang menggunakan nilai spasial pada lokasi yang diamati dan *variogram* yang digunakan untuk memprediksi nilai pada suatu lokasi yang belum diamati. Namun, *Kriging* menghasilkan nilai prediksi yang kurang presisi apabila nilai spasial tersebut terdapat

pencilan sehingga menggunakan *robust Kriging*. Salah satu *semivariogram* dalam metode *Kriging* yaitu *semivariogram* anisotropik. *Semivariogram* anisotropik merupakan *semivariogram* yang bergantung pada jarak vektor  $h$  dan memberikan nilai parameter yang berbeda pada tiap arah  $\alpha$  dan  $\beta$ .

Dalam memprediksi nilai untuk data spasial dapat menggunakan metode *Robust Kriging* dengan *Semivariogram* Anisotropik 3 Dimensi (3D). *Semivariogram* Anisotropik 3 Dimensi (3D) korelasi spasialnya dihitung dalam volume *elipsoida* yang diukur dengan 4 sudut yaitu  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$  dan  $135^\circ$ . *Robust Semivariogram* ditentukan dengan persamaan:

$$\gamma(h) = \frac{\frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{|N(h)|} \sum_{n=1}^{N(h)} |Z(s_i) - Z(s_i + h)|^2 \right\}^{\frac{1}{2}}}{2 \left( 0.457 + \frac{0.494}{|N(h)|} \right)}$$

#### B. Saran

Apabila penelitian ini dilanjutkan dapat dilakukan penelitian dengan menggunakan data agar performa dari *robust Kriging* lebih teruji.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdullah, F., E. Yulianto, Novrizal dan A. Riyanto, "Pseudo 3D seismic uding kriging interpolation". Journal of Physics: Conference Series, Vol.1725, 2021.
- [2] Cressie, N. A., "Statistics for Spatial Data". New York: John Wiley & Sons, Inc, 1993.
- [3] Dewi, P. M. P., K. G. Sukarsa, dan K. Dharmawan, "Interpolasi Spasial dengan Metode Ordinary Kriging Menggunakan Semivariogram Isotropik Pada Data Spasial (Studi Kasus: Curah Hujan di Kabupaten Karangasem)", Jurnal Matematika, Vol.4, pp.26-30, 2015.
- [4] Fridayani, N.M.S.,I P.E.N. Kencana dan K.G. Sukarsa, "Perbandingan Interpolasi Spasial Dengan Metode Ordinary Dan Robust Kriging Pada Data Spasial Berpencilan", Matematika, Vol.1, pp.68-74, 2012.
- [5] Friedland, C.J., T.A. Joyner, C. Massarra, R.V. Rohli, A.M. Trevino,S. Ghosh,C. Huyck and M. Weatherhead, "Isotropic And Anisotropic Kriging Approaches For Interpolating Surface- Level Wind Speed Acroos Large, Geographically Diverse Regions", Geomatics, Natural Hazards and Risk, Vol.8, no.2, pp.207-224, 2017.
- [6] Isaaks, Edward H. and Srivastava, R.M., "Applied Geostatistics". Oxford University Press: New York, 2019.
- [7] Prawaka, F., A. Zakaria, dan S. Tugiono, "Analisis Data Curah Hujan Yang Hilang Dengan Menggunakan Metode Normal, Ratio, Inversed Square Distance, Dan Cara Rata-Rata Aljabar (Studi Kasus Curah Hujan Beberapa Stasiun Hujan Daerah Bandar Lampung)", Journal Rekayasa Sipil Dan Desain, Vol.4, pp.397-406, 2016.
- [8] Rozalia, G., H. Yasin dan D. Ispriyanti, "Penerapan Metode Ordinary Kriging Pada Pendugaan Kadar No2 Di Udara (Studi Kasus: Pencemaran Udara Di Kota Semarang)". Gaussian, Vol.5, pp.113-121, 2016.
- [9] Salim dan U. Mukhaiyar, "Konfigurasi Spasial Potensi Kekuatan Gempa Bumi Menggunakan Metode Kriging Semivariogram Anisotropik 3D" Matematika, Sains dan Pembelajarannya, Vol.5, pp109-120. 2019.
- [10] Shekhtar, S., C. T. Lu and P. Zhang, "Unified Approach to Detecting Spatial Outliers", GeoInformatica, Vol.7, pp.139-166, 2003.
- [11] Supranto, J., "Analisis Multivariat Arti dan Interpretasi", PT. Rineka Cipta, Jakarta, 2004.
- [12] Valcarce .G. Zamora, T. Zapata, A. Ansa, and G. Selva, "Three-dimensional structural modeling and its application for development of the El Portón field, Argentina", AAPG Bulletin, Vol.90, pp.307-319, 2006.
- [13] Wahyudi, A. S., Sugito dan D. Ispriyati, "Metode Robust Kriging Untuk Mengestimasi Data Spasial Berpencilan (Studi Kasus : Pencemaran Udara Gas NO2 di Kota Semarang)", Gaussian, Vol.5, pp.321-330, 2016.
- [14] Youkou, C., Y. Yongguo dan W. Wangwen, "Coal Seam Thickness Prediction Based On Least Squares Support Vector Machens And Kriging Method", Elektronik Journal Of GeotechnicalEngineering, Vol.20, pp.167-176, 2015.