

APLIKASI KONSEP KRIGING PADA DATA SIMULASI GANGGUAN GEOMAGNET LOKAL

APPLICATION OF THE KRIGING CONCEPT ON SIMULATION DATA OF LOCAL GEOMAGNETIC DISTURBANCE

John Maspupu¹ dan Lukman Arifin²

¹ Pusat Sains dan Antariksa LAPAN, Jl. Dr. Djundjuna No. 133 Bandung 40173.

² Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Jl. Dr. Junjuna NO. 236 Bandung-40174

E-mail: john_mspp@yahoo.com dan lukman@mgi.esdm.go.id

Diterima : 02-05-2014, Disetujui : 27-10-2014

ABSTRAK

Makalah ini membahas aplikasi konsep Kriging pada data simulasi gangguan geomagnet lokal dari 3 (tiga) stasion geomagnet (SG). Konsep ini asal mulanya dari geostatistik dan sekarang digunakan secara luas dalam analisis spasial. Metode ini juga dikenal sebagai regresi proses Gauss, prediksi Kolmogorov-Wiener atau prediksi ketakbiasan linier terbaik. Tujuan penulisan makalah ini adalah untuk melakukan estimasi atau interpolasi gangguan geomagnet di sekitar tiga stasion geomagnet (lokasi observasi) tersebut. Untuk merealisasikan tujuan di atas ini menggunakan metode *punctual kriging*. Kontribusi hasil estimasi atau interpolasi gangguan geomagnet ini nantinya digunakan sebagai dasar pembuatan peta atau kontur gangguan geomagnet di sekitar ketiga lokasi observasi tersebut. Dengan demikian informasi gangguan geomagnet akan berguna dalam survei geologi di sekitar lokasi pengamatan.

Kata kunci : Konsep kriging, data simulasi, gangguan geomagnet lokal

ABSTRACT

This paper discuss about the application of Kriging concept on simulation data of local geomagnetic disturbance at three geomagnet stations (SG). This concept was derived from geostatistic and now it is widely used in spatial analysis. This method is also well known as Gaussian process regression, Kolmogorov-Wiener prediction or Best Linear Unbiased Prediction. The aim of this paper is to estimate or interpolate the geomagnetic disturbances at three observation locations. In order to realize the above purpose, it uses punctual kriging method. The contribution of estimation result of this geomagnetic disturbances will be used as a basic for contour mapping of geomagnetic disturbance around these three observation locations. Hence, the information of these geomagnetic disturbances will be useful for geological survey around observation locations.

Keywords: Kriging concept, simulation data, local geomagnetic disturbance

PENDAHULUAN

Menurut (Cressie, 1990) istilah *kriging* diambil dari nama seorang ahli matematika Geologi, yaitu D.G. Krige, yang pertama kali menggunakan korelasi spasial dan estimator yang tidak bias. Istilah *kriging* diperkenalkan oleh G. Matheron tahun 1963 untuk menonjolkan metode khusus dalam rata-rata bergerak terbobot (*weighted moving average*) yang meminimalkan variansi dari hasil estimasi (Cressie, 1993). *Kriging* adalah suatu metode geostatistika yang memanfaatkan nilai spasial pada lokasi tersampel dan variogram untuk memprediksi nilai pada lokasi lain yang belum atau tidak tersampel dimana nilai prediksi tersebut tergantung pada kedekatannya terhadap lokasi tersampel (Matheron, 1963). Pada penerapannya: Punctual Kriging diberlakukan asumsi kestasioneran dalam rata-rata (μ) dan variansi (σ^2). Jika asumsi kestasioneran tersebut tidak terpenuhi maka punctual kriging menghasilkan nilai prediksi yang kurang presisi (Isaaks, dan Srivastava, 1989 dan Stein, 1999). Selain itu punctual kriging merupakan modifikasi dari metode rata-rata bergerak terbobot (*weighted moving average method*) yang

meminimalkan variansi galat (*error*) estimatornya dengan menggunakan pengali Lagrange. Sedangkan metode rata-rata bergerak terbobot hanya mengikutsertakan bobot dalam kombinasi linier nilai-nilai variabel sampel tanpa meminimalkan variansi galat estimatornya. Sebenarnya masih ada metode lain yang juga merupakan modifikasi dari *punctual kriging* namun metode-metode tersebut hanya digunakan pada kondisi-kondisi data tertentu. Misalnya metode universal kriging hanya digunakan pada kondisi data yang non stasioner. Begitu juga metode robust kriging hanya digunakan untuk mengatasi data yang terpencil (*outlier data*). Dengan demikian setiap metode memiliki kelebihan atau ciri khas tersendiri untuk diterapkan pada kondisi-kondisi data tertentu. Menurut teori estimasi kriging, banyaknya lokasi observasi yang digunakan sebagai acuan atau sampel minimal dua lokasi. Sedangkan yang terpenting adalah data di setiap lokasi tersebut harus disesuaikan dengan kebutuhan banyaknya kontur gangguan geomagnet yang diinginkan. Perlu diingat bahwa selang waktu pengamatan dapat saja diperkecil dalam orde jam untuk data yang diperoleh secara non real time. Namun bila selang waktu pengamatan diperkecil dalam orde menit apalagi data yang diperoleh secara real time maka kendalanya adalah waktu proses komputasinya lebih lama dibandingkan dengan perolehan data berikutnya secara real time. Selain itu gangguan geomagnet merupakan selisih positif antara nilai variasi medan geomagnet yang terukur dengan nilai variasi S_q (*solar quiet*) paling tenang dalam satu bulan yang ditinjau di ketiga lokasi observasi tersebut. Dengan demikian tujuan penulisan makalah ini adalah untuk melakukan estimasi atau interpolasi gangguan geomagnet disekitar ketiga stasion geomagnet tersebut. Namun yang menjadi masalah adalah bagaimana menentukan bobot kriging yang dipakai untuk mengestimasi nilai gangguan disekitar ketiga lokasi observasi. Dengan perkataan lain bagaimana menentukan prosedur aplikasi konsep kriging ini untuk menginterpolasi gangguan geomagnet. Untuk menjawab permasalahan di atas ini, perlu disusun suatu metodologi yang tepat dan dapat menyelesaikan masalah tersebut. Hasil yang diperoleh dari aplikasi ini nantinya mempunyai kontribusi sebagai dasar pembuatan peta atau kontur gangguan geomagnet di sekitar ketiga lokasi observasi tersebut.

TEORI DAN METODE

Konsep kriging yang digunakan dalam pembahasan makalah ini adalah menyangkut *punctual kriging* (Davis, 1986) atau *ordinary kriging* (Emery, 2005) dengan asumsi stasioner pada semua variabel acak terkait. Sedangkan fokus penerapannya pada data simulasi gangguan geomagnet lokal dari tiga lokasi observasi. Beberapa ungkapan yang terkait dengan konsep ini akan dijelaskan dalam bentuk definisi sebagai berikut :

Definisi 1. Estimator Kriging \hat{y}_p merupakan kombinasi linier khusus dari nilai variabel sampel y_i

yang diketahui atau ditulis secara matematis sebagai berikut, $\hat{y}_p = \sum_{i=1}^n w_i y_i$ dengan $\sum_{i=1}^n w_i = 1$

(Stein, 1999). Dalam hal ini w_i adalah koefisien bobot dari y_i , n adalah banyak sampel, p adalah bilangan asli yang menunjukkan lokasi estimasi kriging.

Penentuan nilai koefisien bobot w_i adalah dengan cara meminimalkan variansi galat (*error variance*). Dalam hal ini variansi galat populasi dapat diformulasikan sebagai berikut,

$$\sigma_{\hat{y}_p}^2 = \text{Var}(\hat{y}_p - y_p) = \text{Var}[\sum_i w_i y_i - y_p].$$

Dengan y_p adalah nilai sesungguhnya yang tak diketahui

\hat{y}_p adalah nilai estimasi dari y_p

$\mathcal{E}_p = (\hat{y}_p - y_p)$ adalah galat estimasi

$S_\varepsilon^2 = \frac{\sum (\hat{y}_p - y_p)^2}{n-1}$ adalah variansi galat estimasi

$S_\varepsilon = \sqrt{S_\varepsilon^2}$ adalah standar deviasi galat estimasi

Konsep kriging ini bersifat BLUE (*Best, Linear, Unbiased Estimator*). *Best* (terbaik), yaitu meminimalkan variansi galat estimatornya dengan menggunakan pengali *Lagrange*. *Linear* (linier) karena

$\hat{y}_p = \sum_{i=1}^n w_i y_i$ jelas adalah fungsi linier. Sedangkan *Unbiased Estimator* (penaksir tak bias), artinya

$E(\hat{y}_p) = y_p$ ini akan berakibat pada

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1.$$

Definisi 2. Semivariansi adalah suatu nilai terukur yang menyatakan derajat ketergantungan terhadap ruang (*the degree of spatial dependence*) antara masing-masing sampel. Besaran semivariansi antar sampel tergantung pada masing-masing jarak (Stein, 1999).

Definisi 3. Semivariogram $\gamma(h)$ didefinisikan sebagai setengah variansi dari dua nilai observasi yang terpisah sejauh h , sehingga dapat ditulis dalam bentuk matematikanya sebagai berikut :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{var}[z(s+h) - z(s)].$$

Sifat-sifat semivariogram (Cressie, 1993);

Untuk dua data yang berjarak nol, nilai semivariogramnya sama dengan nol. Ditulis $\gamma(0) = 0$.

Nilai semivariogram selalu nonnegatif. Ditulis $\gamma(h) \geq 0$.

Semivariogram merupakan fungsi genap. Ditulis $\gamma(h) = \gamma(-h)$.

Sedangkan karakteristik semivariogram yang terkait disini adalah *Sill* dan *Range* yang dinyatakan dalam definisi 4 dan 5 berikut :

Definisi 4. *sill* adalah sebuah nilai variogram yang besarnya akan selalu konstan pada suatu jarak tertentu atau praktisnya nilai *Sill* sama dengan nilai dari variansi data yang tersampel (Cressie, 1993).

Definisi 5. *Range* adalah jarak pada saat nilai variogram mencapai *Sill*, atau praktisnya nilai *Range* sama dengan selisih antara nilai data maksimum dan nilai data minimum (Cressie, 1993).

Beberapa Model Semivariansi secara Teoritis antara lain adalah:

$$1) \text{ Model Spherical, } \gamma(h) = \begin{cases} C \left[\frac{3h}{2a} - \left(\frac{h}{2a} \right)^3 \right], & \text{untuk } h \leq a \\ C, & \text{untuk } h > a \end{cases}$$

Keterangan : h adalah jarak lokasi antar sampel.

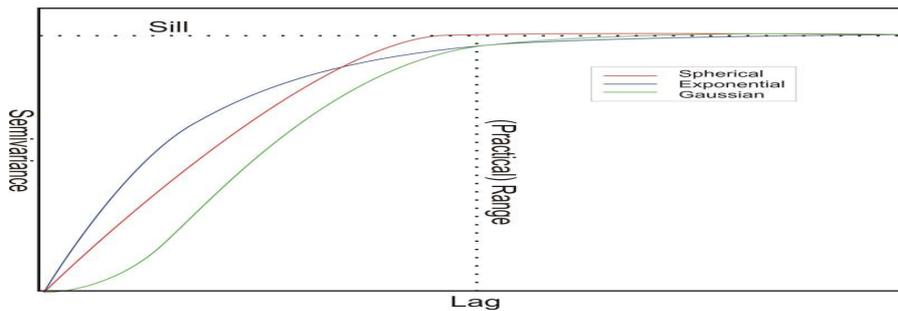
C adalah *sill* yaitu nilai variogram yang besarnya akan selalu konstan pada suatu jarak tertentu.

a adalah range yaitu jarak pada saat nilai variogram mencapai *Sill*.

$$2) \text{ Model Ekspensial, } \gamma(h) = C \left[1 - e^{-\frac{h}{a}} \right]$$

$$3) \text{ Model Gauss, } \gamma(h) = C \left[1 - e^{-\left(\frac{h}{a}\right)^2} \right]$$

Berikut ini ditampilkan gambar ketiga model semivariogram teoritis (Gambar 1)



Gambar 1. Model dari ketiga Semivariaogram teoritis.

4) Model Linier , $\gamma(h) = \alpha h$, dengan α adalah slope parameter.

$$5) \text{ Model Linier yang dimodifikasi, } \gamma(h) = \begin{cases} \alpha h, & \text{untuk } h < a \\ \sigma^2 & \text{untuk } h \geq a \\ 0 & \end{cases}$$

Definisi 6. Semivariogram empiris umumnya dihitung dari data sampel dengan meng-

gunakan formulasi berikut,
$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(S_i + h) - Z(S_i)]^2 \quad \dots (1)$$

dimana: S_i adalah lokasi titik sampel .

$Z(S_i)$ adalah nilai observasi pada lokasi S_i .

h adalah jarak antara dua titik sampel .

S_i, S_i+h adalah pasangan titik sampel yang berjarak h .

$N(h)$ adalah banyaknya pasangan data berbeda yang memiliki jarak h .

Misalkan dibuat suatu estimasi Kriging dari nilai \hat{y} di titik P dari 3 (tiga) observasi yang diketahui yaitu:

y_1, y_2 dan y_3 dengan bobot masing-masing untuk persamaan Kriging w_1, w_2 dan w_3 . Untuk mendapatkan solusi yang diinginkan ini diperlukan 3(tiga) persamaan simultan berikut dan ditambahkan dengan 1(satu) persamaan persyaratan pembobotan (yaitu penjumlahan semua bobot adalah samadengan 1 (satu)) untuk menjamin ketakbiasan solusi tersebut. Sehingga setelah dijabarkan terdapat 4(empat) persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} w_1 \mathcal{Y}(h_{11}) + w_2 \mathcal{Y}(h_{12}) + w_3 \mathcal{Y}(h_{13}) &= \mathcal{Y}(h_{1P}) \\ w_1 \mathcal{Y}(h_{21}) + w_2 \mathcal{Y}(h_{22}) + w_3 \mathcal{Y}(h_{23}) &= \mathcal{Y}(h_{2P}) \quad \dots(2) \\ w_1 \mathcal{Y}(h_{31}) + w_2 \mathcal{Y}(h_{32}) + w_3 \mathcal{Y}(h_{33}) &= \mathcal{Y}(h_{3P}) \end{aligned}$$

dengan syarat: $w_1 + w_2 + w_3 = 1$

dimana: $\mathcal{Y}(h_{ij})$ adalah semivariansi terhadap suatu jarak h yang berkorespondensi secara terpisah antara titik-titik i dan j ($i = 1,2,3 ; j = 1,2,3,P$). Dengan demikian ini menunjukkan suatu sistem persamaan yang terdiri dari 4 (empat) persamaan dengan 3 (tiga) variabel yang tak diketahui yaitu: w_1, w_2 dan w_3 . Selanjutnya digunakan derajat kebebasan ekstra untuk meyakinkan bahwa solusi tersebut memiliki galat estimasi minimum. Untuk itu ditambahkan suatu variabel slek λ pada sistem persamaan di atas yang biasanya disebut sebagai pengali *Lagrange*. Dengan demikian sistem persamaan 2 menjadi ,

$$\begin{aligned} w_1 \mathcal{Y}(h_{11}) + w_2 \mathcal{Y}(h_{12}) + w_3 \mathcal{Y}(h_{13}) + \lambda &= \mathcal{Y}(h_{1P}) \\ w_1 \mathcal{Y}(h_{21}) + w_2 \mathcal{Y}(h_{22}) + w_3 \mathcal{Y}(h_{23}) + \lambda &= \mathcal{Y}(h_{2P}) \quad \dots(3) \\ w_1 \mathcal{Y}(h_{31}) + w_2 \mathcal{Y}(h_{32}) + w_3 \mathcal{Y}(h_{33}) + \lambda &= \mathcal{Y}(h_{3P}) \\ w_1 + w_2 + w_3 + 0 &= 1 \end{aligned}$$

Sistem persamaan 3 ini dapat ditulis dalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$\begin{pmatrix} \mathcal{Y}(h_{11}) & \mathcal{Y}(h_{12}) & \mathcal{Y}(h_{13}) & 1 \\ \mathcal{Y}(h_{21}) & \mathcal{Y}(h_{22}) & \mathcal{Y}(h_{23}) & 1 \\ \mathcal{Y}(h_{31}) & \mathcal{Y}(h_{32}) & \mathcal{Y}(h_{33}) & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathcal{Y}(h_{1P}) \\ \mathcal{Y}(h_{2P}) \\ \mathcal{Y}(h_{3P}) \\ 1 \end{pmatrix} \quad \dots(4)$$

Atau: $A W = B \quad \dots(5)$

$$W = A^{-1} . B \quad \dots(6)$$

Dengan W adalah vektor koefisien yang tak diketahui, sedangkan matriks A dan vektor B diambil langsung dari nilai semivariansi. Dari persamaan (6) diperoleh w_1, w_2, w_3 dan λ , sehingga

$$\hat{y}_p = w_1 y_1 + w_2 y_2 + w_3 y_3 \quad \dots(7)$$

Dengan variansi estimasi ($S_{\mathcal{E}}^2$) adalah:

$$S_{\mathcal{E}}^2 = W_1 \mathcal{Y}(h_{1P}) + W_2 \mathcal{Y}(h_{2P}) + W_3 \mathcal{Y}(h_{3P}) + \lambda \quad \dots(8)$$

$$\text{Atau: } S_{\mathcal{E}}^2 = W^T B \quad \dots(9)$$

Selanjutnya tahapan kegiatan penelitian yang dilakukan ini dapat dijabarkan dalam beberapa langkah berikut :

- i). Kompilasi data posisi geografis dari beberapa titik sampel (stasion geomagnet) yang digunakan sebagai lokasi observasi .
- ii). Kompilasi data posisi geografis dari beberapa titik sampel yang akan diestimasi sekitar lokasi observasi .
- iii). Kompilasi data gangguan geomagnet dari beberapa titik sampel (stasion geomagnet) yang digunakan sebagai lokasi observasi .
- iv). Hitung jarak antara dua titik sampel dengan formulasi jarak

$$J(i, j) = \sqrt{(i_1 - i_2)^2 + (j_1 - j_2)^2} .$$

dimana i, j = koordinat titik sampel

- v). Hitung semivariogram empiris (eksperimen) dengan formulasi (1) .
- vi). Plot semivariogram empiris tersebut terhadap jarak h .
- vii). Taksir parameter dari model semivariogram teoritis yang telah sesuai dengan model semivariogram empiris yang diperoleh.
- viii). Cocokkan semivariogram empiris tersebut dengan semivariogram teoritis (model 1 s/d model 5).
- ix). Tentukan nilai semivariansi jarak antara titik sampel-titik sampel tersebut.
- x). Gunakan sistem persamaan (3) untuk menentukan matriks A di persamaan (4), kemudian tentukan matriks A^{-1}
- xi). Gunakan persamaan (6) untuk menentukan matriks bobot W .
- xii). Gunakan persamaan (7) untuk mengestimasi gangguan geomagnet pada titik sampel disekitar lokasi observasi.
- xiii). Gunakan persamaan (9) untuk mengestimasi variansi gangguan geomagnet pada titik sampel disekitar lokasi observasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Posisi SG dan titik-titik sampel yang akan diestimasi gangguan geomagnetnya dalam pembahasan ini diasumsikan seperti pada table 1. Asumsi ini diperlukan untuk mempermudah dan mempercepat penerapan konsep Kriging pada estimasi gangguan geomagnet di sekitar lokasi SG tersebut. Oleh karena itu data yang digunakan adalah data simulasi gangguan geomagnet dari tiga lokasi SG (Stasion Geomagnet). Data ini diamati selama 10 selang waktu dengan pengertian tiap selang waktu adalah 3 jam. Kemudian dengan menerapkan langkah i) dan langkah ii) dari bagian metodologi tersebut akan diperoleh hasil seperti yang ditabulasikan dalam Tabel 1. Selanjutnya penerapan langkah iii) dari bagian metodologi di atas akan diperoleh hasil seperti yang ditabulasikan dalam Tabel 2.

Tabel 1. Posisi SG dan titik sampel p , q yang akan di estimasi gangguan geomagnetnya.

S G	Koordinat X ₁ (km) 1:10	Koordinat X ₂ (km) 1:10
1	3,0	4,0
2	6,3	3,4
3	2,0	1,3
p	3,0	3,0
q	4,9	2,5

Tabel 2. Data simulasi gangguan dari tiga lokasi SG selama 10 selang waktu .

Selang waktu ke- n	Gangguan geomagnet di SG 1 Dalam nT	Gangguan geomagnet di SG 2 Dalam nT	Gangguan geomagnet di SG 3 Dalam nT
1.	120	103	142
2.	110	115	135
3.	103 min	100 min	130 min
4.	115	120	140
5.	118	128	145
6.	109	118	132
7.	125 maks	130 maks	150 maks
8.	107	110	147
9.	105	122	138
10	122	129	136

Dari Tabel 2 di atas terlihat bahwa besarnya gangguan geomagnet minimum di SG1 , SG2 , SG3 berturut-turut adalah 103 nT , 100 nT, 130 nT dan semuanya terjadi pada selang waktu ke-3. Sehingga rata-rata gangguan geomagnet minimum di ketiga lokasi tersebut adalah 111 nT. Sedangkan besarnya gangguan geomagnet maksimum di SG1 , SG2 , SG3 berturut-turut adalah 125 nT , 130 nT, 150 nT dan semuanya terjadi pada selang waktu ke-7. Sehingga rata-rata gangguan geomagnet maksimum di ketiga lokasi tersebut adalah 135 nT. Begitu juga rata-rata gangguan geomagnet di SG1 , SG2 , SG3 berturut-turut adalah 113,4 nT , 117,5 nT, 139,5 nT. Selanjutnya Tabel 3 dan Tabel 4, dihitung berdasarkan data pada Tabel 1 dengan penerapan langkah iv) dari bagian metodologi (yaitu formulasi jarak antara dua titik).

Tabel 3. Jarak antara SG – SG dan lokasi p.

S G	1	2	3	p
1	0	3,35	2,88	1,00
2		0	4,78	3,32
3			0	1,97

Tabel 4. Jarak antara SG – SG dan lokasi q.

S G	1	2	3	q
1	0	3,35	2,88	2,4
2		0	4,78	1,6
3			0	3,0

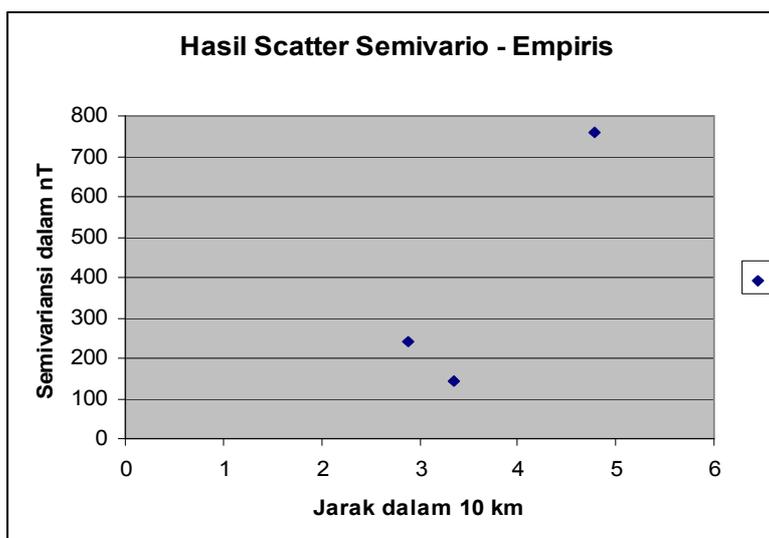
Dengan menerapkan langkah v) s/d vii) dari bagian metodologi tersebut , diperoleh Tabel 5, Tabel 6 dan Gambar 2, seperti berikut.

Tabel 5. Nilai-nilai parameter statistik

Banyak data sampel/lokasi (n)	3
Rata-rata Hitung ($mean$)	121,6
Variansi (s^2)	382,33
Simpangan baku (s)	19,55
Median	120
Nilai data maks.	142
Nilai data min.	103
Rentang nilai data ($range$)	39

Tabel 6. Hasil perhitungan semivariogram empiris

Jarak (h) dalam 10 km	Nilai semi-variogram empiris	Banyaknya pasangan data sampel ($N(h)$)
2,88	242	1 \rightarrow (1, 3) = (3, 1)
3,35	144,5	1 \rightarrow (1, 2) = (2, 1)
4,78	760,5	1 \rightarrow (2, 3) = (3, 2)



Gambar 2. Hasil diagram pencar dari semivariogram empiris

Selanjutnya dengan menerapkan langkah viii) dari bagian metodologi tersebut , diperoleh semivariansi empiris sebagai fungsi jarak sebagai berikut , $\gamma(h) = 4h$. Gunakan langkah ix) s/d xi) dari bagian metodologi tersebut , diperoleh Tabel 7 , Tabel 8 , matriks invers A^{-p} , matriks invers A^{-q} serta matriks bobot W_p dan matriks bobot W_q seperti berikut ini.

Tabel 7. Semivariansi jarak antara SG – SG dan lokasi p.

SG	1	2	3	p
1	0	13,40	11,52	4,00
2		0	19,12	13,28
3			0	7,88

Tabel 8. Semivariansi jarak antara SG – SG dan lokasi q.

SG	1	2	3	q
1	0	13,40	11,52	9,6
2		0	19,12	6,4
3			0	12,0

$$A^{-p} = \begin{pmatrix} -0.068 & 0.0326 & 0.0354 & 0.1932 \\ 0.0326 & -0.0433 & 0.0106 & 0.4072 \\ 0.0354 & 0.0106 & -0.0461 & 0.3995 \\ 0.1932 & 0.072 & 0.3995 & -9.5851 \end{pmatrix}$$

dan

$$A^{-q} = \begin{pmatrix} -0.068 & 0.0326 & 0.0354 & 0.1932 \\ 0.0326 & -0.0433 & 0.0106 & 0.4072 \\ 0.0354 & 0.0106 & -0.0461 & 0.3995 \\ 0.1932 & 0.4072 & 0.3995 & -9.5851 \end{pmatrix}$$

$$W_p = \begin{pmatrix} 0.5954 \\ 0.0975 \\ 0.3071 \\ -0.7298 \end{pmatrix} \text{ dan } W_q = \begin{pmatrix} 0.1676 \\ 0.5796 \\ 0.2528 \\ -0.3711 \end{pmatrix}$$

Selanjutnya gunakan Tabel 2, dan langkah xii) s/d xiii) dari bagian metodologi tersebut untuk mengestimasi gangguan geomagnet serta variansi gangguan geomagnet di masing-masing titik p dan q selama 10 selang waktu . Hasilnya ditampilkan dalam Tabel 9 dan Tabel 10 , dibawah ini.

Tabel 9. Hasil estimasi gangguan geomagnet di p selama 10 selang waktu dengan tingkat kepercayaan 95 %.

Selang waktu ke- n	Estimasi gangguan geomagnet di p dalam nT	Estimasi variansi gangguan geomagnet di p dalam nT.	Selang kepercayaan gangguan geomagnet di p dalam nT
1.	125,1	5,25	125,1 ± 4,6
2.	118,2	5,25	118,2 ± 4,6
3.	110,99 min	5,25	110,99 ± 4,6
4.	123,2	5,25	123,2 ± 4,6

5.	127,3	5,25	127,3 ± 4,6
6.	116,9	5,25	116,9 ± 4,6
7.	133,2 maks	5,25	133,2 ± 4,6
8.	119,6	5,25	119,6 ± 4,6
9.	116,8	5,25	116,8 ± 4,6
10.	126,98	5,25	126,98 ± 4,6
	$\overline{Egp} = 121,83$		

Tabel 10. Hasil estimasi gangguan geomagnet di q selama 10 selang waktu dengan tingkat kepercayaan 95 %.

Selang waktu ke- n	Estimasi gangguan geomagnet di q dalam nT.	Estimasi variansi gangguan geomagnet di q dalam nT.	Selang kepercayaan gangguan geomagnet di q dalam nT.
1.	115,7	7,91	115,7 ± 5,6
2.	119,2	7,91	119,2 ± 5,6
3.	108,1 min	7,91	108,1 ± 5,6
4.	124,2	7,91	124,2 ± 5,6
5.	130,6	7,91	130,6 ± 5,6
6.	120,0	7,91	120,0 ± 5,6
7.	134,2 maks	7,91	134,2 ± 5,6
8.	118,8	7,91	118,8 ± 5,6
9.	123,2	7,91	123,2 ± 5,6
10.	129,6	7,91	129,6 ± 5,6
	$\overline{Egq} = 122,36$		

Dari tabel 9 dan tabel 10 terlihat bahwa estimasi besar gangguan geomagnet minimum di p sebesar 110,99 nT dan q sebesar 108,1 nT . Walaupun berbeda namun terjadi pada selang waktu yang sama yaitu selang waktu ke-3 (bukan pada saat yang sama secara serentak, karena memerlukan delay waktu tertentu). Hal yang serupa berlaku juga untuk estimasi gangguan geomagnet maksimum di p sebesar 133,2 nT dan q sebesar 134,2 nT yaitu terjadi pada selang waktu ke-7. Ini seiring dengan data gangguan geomagnet minimum di SG1, SG2, SG3 yang terjadi juga pada selang waktu yang sama yaitu selang waktu ke-3 (lihat Tabel 2). Begitu juga data gangguan geomagnet maksimum di SG1, SG2, SG3 yang terjadi juga pada selang waktu yang sama yaitu selang waktu ke-7 (lihat Tabel 2). Dari Tabel 9 terlihat bahwa estimasi besar gangguan geomagnet minimum di p sebesar 110,99 nT ini mendekati rata-rata gangguan geomagnet minimum di ketiga lokasi SG1, SG2, SG3 yaitu 111 nT. Sedangkan dari Tabel 10 terlihat bahwa estimasi gangguan geomagnet maksimum di q sebesar 134,2 nT inipun mendekati rata-rata gangguan geomagnet maksimum di ketiga lokasi SG1, SG2, SG3 yaitu 135 nT. Selain itu rata-rata estimasi gangguan geomagnet di p dan di q setelah dihitung berdasarkan Tabel 9 dan Tabel 10 adalah berturut-turut sebesar 121,83 nT dan 122,36 nT. Hasil yang diperoleh ini adalah lebih besar bila dibandingkan dengan rata-rata gangguan geomagnet di SG1 dan SG2 (yaitu 113,4 nT dan 117,5 nT) namun lebih kecil bila dibandingkan dengan rata-rata gangguan geomagnet di SG3 (yaitu 139,5 nT) .

KESIMPULAN

Hasil estimasi gangguan geomagnet ekstrim (minimum ataupun maksimum) di lokasi tak tersampel (p dan q) terjadi pada selang waktu yang sama.

Sedangkan besarnya estimasi gangguan geomagnet ekstrim (minimum ataupun maksimum) di lokasi tak tersampel (p dan q) akan mendekati rata-rata gangguan geomagnet ekstrim (minimum ataupun maksimum) dari ketiga lokasi tersampel. Rata-rata estimasi gangguan geomagnet di lokasi tak tersampel (p dan q) berada diantara rata-rata gangguan geomagnet lokasi tersampel SG1, SG2 dan rata-rata gangguan geomagnet lokasi tersampel SG3. Hal ini tergantung dari jarak lokasi tak tersampel (p dan q) terhadap lokasi gangguan geomagnet tersampel SG3. Ini berarti semakin jauh jarak antara lokasi tak

tersampel (p dan q) dengan lokasi gangguan geomagnet tersampel SG3, semakin kecil juga gangguan geomagnet di lokasi tak tersampel (p dan q) yang akan diestimasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Sains dan Antariksa, LAPAN dan rekan-rekan fungsional atas dukungan, kritik dan saran hingga tersusunnya tulisan ini. Terimakasih pula kepada Kepala Observasi Stasiun Geomagnet Tondano yang telah member ijin penggunaan data.

DAFTAR ACUAN

- Cressie, N.,1990. The Origins of Kriging, *Journal of Mathematical Geology*, v. 22, h. 239–252.
- Cressie, N.,1993. *Statistics for spatial data*, John Wiley & Sons, New York. 928 h.
- Davis, J.C.,1986. *Statistical and data analysis in geology*. 2nd Ed., John Wiley & Sons, New York. 656 h.
- Emery, X., 2005. "Simple and Ordinary Kriging Multigaussian Kriging for Estimating recoverable Reserves", *Journal of Mathematical Geology*, v. 37, h. 295-310.
- Isaaks, E. H. and Srivastava, R. M.,1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*, Oxford University Press, New York, 592 h.
- Matheron, G.,1963. Principles of Geostatistics, *Journal of Economic Geology*. v. 58, h.1246-1266.
- Stein , M. L.,1999. *Statistical Interpolation of Spatial Data: Some Theory for Kriging*, Springer, New York. 393 h.

