

Penaksiran Kandungan Klorida di Sungai Mahakam Wilayah Samarinda Tahun 2017 dengan Metode Cokriging

Estimation of Chloride Content in Mahakam River Samarinda in 2017 by Cokriging Methode

Eko Prasatyo Putra¹, Rito Goejantoro² dan Suyitno³

^{1,2}Laboratorium Statistika Komputasi, FMIPA, Universitas Mulawarman

³Laboratorium Statistika Terapan, FMIPA, Universitas Mulawarman

E-mail: ekoprasatyo@gmail.com

Abstract

Cokriging is the interpolation method of value of an unsampled data by minimizing the variance of the estimation error by utilizing cross correlations between the main variable and the additional variable. This study aims to estimate the chloride content in the Mahakam River in Samarinda by using the cokriging method. The data of this study are spatial data that consists of the main variable data is chloride content and additional variable data is the pH of the water, as well as the coordinates of the observation location. Semivariogram (matrix covariance) is determined based on the best model, namely theoretical semivariogram. The best theoretical semivariogram model for cross variables is the exponential model, while the best theoretical semivariogram model for the main variable and additional variables are the spherical model. The selected theoretical semivariogram model was used to determine the semivariogram matrix in estimating chloride content in IPA Bantuas and Teluk Lerong. The results of estimation of chloride content in IPA Bantuas and Teluk Lerong are 1.91 mg/l and 1.64 mg/l. Based on the estimated chloride content in IPA Bantuas and in Teluk Lerong, it shows that the chloride content is still below the maximum threshold and meets the water chloride content standard for consumption by the Ministry of Health of the Republic of Indonesia, which is a maximum of 250 mg/l.

Keywords: Cokriging, chloride content, theoretical variogram.

Pendahuluan

Ilmu pengetahuan dewasa ini semakin berkembang, salah satunya adalah ilmu kebumihantropologi yang merupakan ilmu yang mempelajari struktur bumi beserta keragamannya. Ilmu kebumihantropologi berkaitan erat dengan statistika yang digunakan dalam pengolahan data ilmu kebumihantropologi (geostatistika).

Metode *kriging* merupakan teknik geostatistik untuk interpolasi nilai dilokasi yang tidak teramati dari pengamatan dan nilainya diperoleh dari lokasi terdekat (Femandes dan Calderon, 2009). Dalam perkembangannya, terdapat beberapa metode *kriging* yang dikembangkan untuk data geostatistika. Salah satu pengembangan dari metode *kriging* adalah *cokriging*. *Cokriging* merupakan metode untuk mengestimasi nilai suatu data yang tidak tersampel yang meminimalkan kesalahan estimasi dengan memanfaatkan korelasi silang antar dua variabel yaitu variabel utama dan variabel tambahan. *Cokriging* tidak membutuhkan asumsi normalitas data melainkan membutuhkan asumsi data stasioner (Cresie, 1993).

Penelitian mengenai *cokriging* telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya dan juga menjadi acuan dalam penelitian ini, seperti Rachmawati (2009) menggunakan metode *ordinary kriging* dan *cokriging* untuk menduga kadar NO₂ pada studi kasus pencemaran udara di

kota Bogor. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa hasil interpolasi NO₂ berdasarkan nilai akar kuadrat tengah galat (RMSE) menunjukkan bahwa metode *cokriging* khususnya pada sudut anisotropik 135^o lebih baik daripada metode *ordinary kriging* (Rachmawati, 2009). Romaji (2016) juga melakukan penelitian dengan menggunakan *cokriging* untuk mengestimasi produksi minyak dan gas bumi di Kalimantan Utara. Hasil dari penelitiannya diperoleh bahwa metode *cokriging* memberikan estimasi yang sangat akurat dengan nilai R² sebesar 99,7% untuk estimasi produksi minyak bumi dan 99,9% untuk estimasi produksi gas bumi. Beberapa penelitian di atas menunjukkan bahwa metode *cokriging* lebih akurat dalam mengestimasi daripada metode *kriging* (Romaji, 2016).

Sungai Mahakam merupakan sungai yang terdapat di Kalimantan Timur yang merupakan sungai permanen, yaitu sungai yang debit airnya relatif tetap sepanjang tahun. Air Sungai ini digunakan oleh masyarakat sekitar khususnya masyarakat Kota Samarinda sebagai sumber kehidupan. PDAM Tirta Kencana Kota Samarinda menggunakan air baku Sungai Mahakam yang diproses hingga menjadi air bersih atau air yang layak digunakan untuk kebutuhan sehari-hari termasuk untuk air minum. Namun, beberapa kasus dijumpai bahwa air Sungai Mahakam memiliki kandungan klorida yang cukup tinggi.

Misalnya pada tahun 2015 kadar klorida di Sungai Mahakam sempat mencapai lebih dari 250 mg/l yang terjadi pada bulan Juli sampai September. Mengonsumsi air yang memiliki kandungan klorida cukup tinggi dapat berakibat buruk bagi kesehatan, seperti hipertensi, serangan jantung dan stroke.

Pada penelitian ini, dilakukan penaksiran kandungan klorida di sungai Mahakam wilayah kota Samarinda Kalimantan Timur menggunakan metode *cokriging* dengan pH sebagai variabel tambahan yang diambil dari PDAM Tirta Kencana Kota Samarinda. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui model semivariogram teoritis terbaik yang digunakan untuk mengestimasi kandungan klorida di sungai Mahakam wilayah Samarinda dan mengetahui hasil penaksiran kandungan klorida di Instalasi Pengolahan Air (IPA) Bantuas dan Teluk Lerong pada April 2017.

Data Spasial

Data spasial adalah suatu hasil pengukuran yang memuat suatu informasi mengenai lokasi dari suatu pengukuran (Cressie, 1993). Data spasial mempunyai dua bagian penting yang menjadi pembeda dengan data lainnya, yaitu informasi lokasi (spasial) dan informasi deskriptif (*attribute*). Data spasial merupakan salah satu data yang dependen atau berkorelasi, yaitu dipengaruhi dengan faktor-faktor lainnya.

Stasioneritas

Metode *cokriging* dapat digunakan jika data geostatistik memenuhi asumsi stasioneritas. Suatu data dikatakan memenuhi sifat stasioner jika data tersebut tidak memiliki kecenderungan terhadap *trend* tertentu atau data berada di sekitar nilai rata-rata yang konstan, tidak tergantung pada waktu dan varians.

Variogram dan Semivariogram

Variogram merupakan karakteristik dari korelasi spasial, yaitu korelasi antara dua buah data spasial yang disebabkan oleh bertambahnya jarak dari data yang akan diambil sehingga menyebabkan korelasi antara dua buah data spasial menjadi berkurang ataupun tidak memiliki korelasi (Cressie, 1993). Terdapat dua jenis variogram yaitu variogram eksperimental dan variogram teoritis. Variogram eksperimental diperoleh berdasarkan data sampel hasil pengukuran, sedangkan variogram teoritis merupakan variogram yang tersusun menurut fungsi atau model tertentu sebagai pengganti variogram eksperimental. Sedangkan semivariogram adalah setengah dari variogram.

Variogram terdiri dari beberapa komponen, yaitu sebagai berikut:

1. *Sill*
Sill adalah masa stabil suatu variogram yang mencapai *range* (Isaaks dan Srivastava, 1989). Nilai *sill* diperoleh dari nilai varians sampel (Awali dkk, 2013).
2. *Range*
Range adalah jarak dimana variogram mencapai dataran tinggi atau sebuah masa stabil (Isaaks dan Srivastava, 1989). Nilai *range* diperoleh dari nilai tengah interval kelas yang nilai variogramnya mendekati *sill* (Awali dkk, 2013).
3. *Nugget Effect*
Nugget Effect adalah nilai variogram pada titik asal untuk jarak *h* yang mendekati nol. Jika suatu variogram tidak berasal dari titik nol maka variogram tersebut mengandung *Nugget Effect*.

Variogram eksperimental merupakan variogram yang diperoleh dari hasil pengukuran data spasial berdasarkan nilai pengamatan (Cressie, 1993). Variogram dirumuskan sebagai berikut:

$$2\gamma(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(d_i + h) - Z(d_i)]^2 \tag{1}$$

Sedangkan semivariogram eksperimental dirumuskan sebagai berikut:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(d_i + h) - Z(d_i)]^2 \tag{2}$$

dimana:

- $2\gamma(h)$ = nilai variogram dengan jarak *h*
- $\gamma(h)$ = nilai semivariogram dengan jarak *h*
- d_i = lokasi ke-*i*
- $Z(d_i)$ = nilai pengamatan pada lokasi ke-*i*
- d_i+h = lokasi ke-*i* dengan penambahan jarak *h*
- h* = jarak antar lokasi
- $N(h)$ = banyak pasangan data pada jarak *h*

Variogram teoritis merupakan variogram yang tersusun menurut fungsi atau model tertentu sebagai pengganti variabel eksperimental. Beberapa model dari semivariogram teoritis yaitu sebagai berikut:

1. Model *Spherical*

$$\hat{\gamma}(h) = \begin{cases} C \left[1.5 \frac{f(h)}{r} - 0.5 \left(\frac{f(h)}{r} \right)^3 \right], & f(h) \leq r \\ C, & f(h) > r \end{cases} \tag{3}$$

2. Model *Ekspensial*

$$\hat{\gamma}(h) = C \left[1 - \exp \left(- \frac{3f(h)}{r} \right) \right] \tag{4}$$

3. Model Gaussian

$$\hat{\gamma}(h) = C \left[1 - \exp \left(- \frac{3(f(h))^2}{r^2} \right) \right] \tag{5}$$

dengan:

- r = range
- $f(h)$ = rata-rata jarak antar lokasi di setiap kelas
- C = sill

Cokriging

Metode *cokriging* merupakan metode pendugaan yang meminimumkan varians dari galat estimasi dengan memanfaatkan korelasi silang antara dua variabel yakni variabel utama dan variabel tambahan (Isaaks dan Srivastava, 1989). Penaksiran *cokriging* merupakan kombinasi linier dari data variabel utama dan variabel tambahan yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\hat{u}_0 = \sum_{i=1}^n a_i u_i + \sum_{j=1}^m b_j v_j \tag{6}$$

dimana,

- \hat{u}_0 = penaksiran u pada lokasi 0
- u_1, u_2, \dots, u_n = data variabel utama pada n lokasi
- v_1, v_2, \dots, v_m = data variabel tambahan pada m lokasi
- a_1, a_2, \dots, a_n = pembobot variabel utama
- b_1, b_2, \dots, b_m = pembobot variabel tambahan

Cross Variogram

Metode *cokriging* menggunakan dua variabel acak untuk interpolasi, sehingga untuk mengukur independensi spasial menggunakan *cross variogram*. Rumus *cross variogram* dinyatakan dalam persamaan (7) sebagai berikut:

$$\gamma_{UV}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i,j=1}^{N(h)} (u_i - u_j)(v_i - v_j) \tag{7}$$

Validasi Model

Validasi model digunakan untuk menguji apakah model sudah cocok atau tidak dengan data yang dimiliki. Ukuran yang dapat digunakan untuk membandingkan keakuratan model yaitu *Sum of Square Error* (MSE), dengan persamaan sebagai berikut (Isaaks dan Srivastava, 1989):

$$SSE = \sum_{i=1}^n (\gamma(h_i) - \hat{\gamma}(h_i))^2 \tag{8}$$

dimana:

- $\gamma(h_i)$ = Nilai model semivariogram eksperimental pada lokasi ke- i
- $\hat{\gamma}(h_i)$ = Nilai model semivariogram teoritis pada lokasi ke- i

n = Banyak data

Penaksiran Cokriging

Pada proses penaksiran data spasial, semivariogram teoritis dari hasil analisis struktural dengan nilai (SSE) terkecil akan digunakan untuk menentukan bobot dari lokasi-lokasi yang tersampel terhadap lokasi yang akan ditaksir (tidak tersampel). Besarnya nilai bobot pada lokasi tersampel dapat dituliskan dalam notasi matriks sebagai berikut (Isaaks dan Srivastava, 1989):

$$C E = D \tag{9}$$

dimana,

$$C = \begin{bmatrix} Cov(U_1, U_1) & K & Cov(U_1, U_n) & Cov(U_1, V_1) & K & Cov(U_1, V_m) & 1 & 0 \\ M & O & M & M & O & M & M & M \\ Cov(U_n, U_1) & K & Cov(U_n, U_n) & Cov(U_n, V_1) & K & Cov(U_n, V_m) & 1 & 0 \\ Cov(V_1, U_1) & K & Cov(V_1, U_n) & Cov(V_1, V_1) & K & Cov(V_1, V_m) & 0 & 1 \\ M & O & M & M & O & M & M & M \\ Cov(V_m, U_1) & K & Cov(V_m, U_n) & Cov(V_m, V_1) & K & Cov(V_m, V_m) & 0 & 1 \\ 1 & K & 1 & 0 & K & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K & 0 & 1 & K & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} Cov(U_0, U_1) \\ M \\ Cov(U_0, U_n) \\ Cov(U_0, V_1) \\ M \\ Cov(U_0, V_m) \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \text{ dan } E = \begin{bmatrix} a_1 \\ M \\ a_n \\ b_1 \\ M \\ b_m \\ -\mu_1 \\ -\mu_2 \end{bmatrix}$$

Sehingga diperoleh penaksir untuk vektor E sebagai berikut:

$$E = C^{-1} . D \tag{10}$$

Hasil dan Pembahasan

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari PDAM Tirta Kencana Kota Samarinda Kalimantan Timur pada bulan April 2017. Data yang digunakan adalah kandungan klorida (variabel utama) dan pH (variabel tambahan) serta data geostatistik dimana setiap lokasi terdapat titik koordinat lokasi X (*easting*), koordinat lokasi Y (*northing*).

Statistika Deskriptif

Analisis statistika deskriptif dilakukan untuk melihat gambaran umum data yang digunakan dalam penelitian, dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1 diperoleh nilai rata-rata kandungan klorida di Sungai Mahakam wilayah Samarinda sebesar 1,929 mg/l dengan kandungan klorida minimum sebesar 1,5 mg/l dan kandungan klorida maksimum sebesar 2,5 mg/l serta nilai

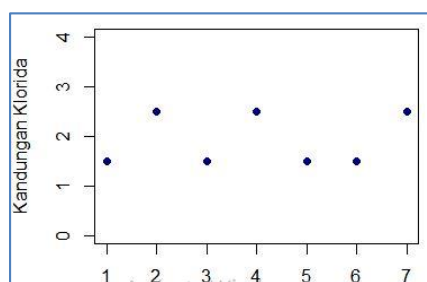
varians sebesar 0,2857 mg/l. Sedangkan nilai rata-rata pH sebesar 6,386 dengan pH minimum sebesar 6,2, pH maksimum sebesar 6,6 dan nilai kovarians sebesar 0,0314 serta nilai kovarians klorida dan pH sebesar -0,0095.

Tabel 1. Analisis Deskriptif

Statistik	Klorida	pH
Rata-rata	1,929	6,386
Minimum	1,5	6,2
Maksimum	2,5	6,6
Varians	0,2857	0,0314
Kovarians	-0,0095	

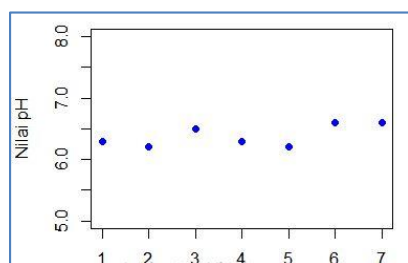
Kestasioneran Data

Pemeriksaan kestasioneran data dilakukan dengan cara membuat *plot* data pada masing-masing variabel. *Plot* sebaran data dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 1. *Plot* data kandungan klorida

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa data kandungan klorida yang telah diurutkan berdasarkan aliran sungai dari hulu menuju hilir di titik-titik lokasi pada April 2017 tidak memiliki kecenderungan trend tertentu atau data tersebar disekitar nilai rata-rata yaitu sebesar 1,929 mg/l sehingga dapat dikatakan bahwa data kandungan klorida tersebut stasioner.



Gambar 2. *Plot* data pH

Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa data pH air di titik-titik lokasi pada April 2017 tidak memiliki kecenderungan trend tertentu atau data tersebar disekitar nilai rata-rata yaitu sebesar 6,386 sehingga dapat dikatakan bahwa data kandungan klorida tersebut stasioner.

Menghitung Nilai Semivariogram Eksperimental

Tahapan menghitung nilai semivariogram eksperimental adalah membagi pasangan data

menjadi beberapa kelas dengan menggunakan persamaan *sturgess* sehingga diperoleh sebanyak 4 kelas. Selanjutnya dihitung nilai semivariogram eksperimental (*cokriging*) untuk masing-masing kelas tersebut menggunakan persamaan (7). Sehingga diperoleh nilai semivariogram eksperimental sebagai berikut:

Tabel 2. Nilai Semivariogram Eksperimental

Variabel	Kelas	$N(h)$	$f(h)$	$\gamma(h)$
Klorida, pH (<i>Cross Variable</i>)	1	10	2895,509	-0,055
	2	4	10443,089	-0,013
	3	6	12479,614	0,042
	4	1	22686,006	0,150
Klorida	1	10	2895,509	0,300
	2	4	10443,089	0,375
	3	6	12479,614	0,167
	4	1	22686,006	0,500
pH	1	10	2895,509	0,033
	2	4	10443,089	0,006
	3	6	12479,614	0,043
	4	1	22686,006	0,045

Langkah selanjutnya adalah menentukan komponen dari nilai semivariogram eksperimental yaitu *sill* dan *range*. Nilai *sill* diperoleh dari nilai varians data sedangkan nilai *range* diperoleh dari nilai tengah jarak dari suatu kelas yang nilai semivariogram eksperimentalnya mendekati nilai *sill*. Nilai *sill* dan *range* diperoleh sebagai berikut:

Tabel 3. Nilai *Sill* dan *Range*

Variabel	<i>Sill</i>	<i>Range</i>
Klorida, pH	-0,0095	8507,253
Klorida	0,2857	2835,751
pH	0,0314	2835,751

Menghitung Model Semivariogram Teoritis

Model semivariogram teoritis digunakan untuk dibandingkan dengan model semivariogram eksperimental (*cokriging*). Model semivariogram teoritis yaitu model *spherical*, *eksponensial* dan *gaussian*. Ketiga model tersebut akan digunakan pada setiap kelas pada masing-masing variabel sehingga diperoleh nilai masing-masing kelas sebagai berikut:

Tabel 4. Nilai Semivariogram Teoritis (Klorida, pH)

Kelas	$f(h)$	A	B	C
1	2895,509	-0,0047	-0,0061	-0,0028
2	10443,089	-0,0095	-0,0093	-0,0094
3	12479,614	-0,0095	-0,0094	-0,0095
4	22686,006	-0,0095	-0,0095	-0,0095

Untuk mengetahui model semivariogram teoritis terbaik digunakan kriteria nilai SSE menggunakan persamaan (8), dengan hasil pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan SSE (Klorida, pH)

Model	SSE
<i>Spherical</i>	0,0306
<i>Eksponensial</i>	0,0304
<i>Gaussian</i>	0,0308

Berdasarkan hasil perhitungan nilai SSE diatas, maka dapat disimpulkan bahwa ketiga model semivariogram teoritis (klorida, pH) sudah baik dan ketiga model semivariogram teoritis (klorida, pH) bisa digunakan. Pada penelitian ini peneliti menggunakan model *eksponensial* karena memiliki nilai SSE terkecil yaitu 0,0304. Sehingga model *eksponensial* yang akan digunakan untuk melakukan penaksiran.

Tabel 6. Nilai Semivariogram Teoritis (Klorida)

Kelas	$f(h)$	A	B	C
1	2895,509	0,286	0,286	0,273
2	10443,089	0,286	0,286	0,286
3	12479,614	0,286	0,286	0,286
4	22686,006	0,286	0,286	0,286

Untuk mengetahui model semivariogram teoritis terbaik digunakan kriteria nilai SSE menggunakan persamaan (8), dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 7. Hasil Perhitungan SSE (Klorida)

Model	SSE
<i>Spherical</i>	0,0682
<i>Eksponensial</i>	0,0688
<i>Gaussian</i>	0,0688

Berdasarkan hasil perhitungan nilai SSE diatas, dapat disimpulkan bahwa ketiga model semivariogram teoritis (klorida) sudah baik dan ketiga model semivariogram teoritis (klorida) bisa digunakan. Pada penelitian ini peneliti menggunakan model *spherical* karena memiliki nilai SSE terkecil yaitu 0,0682.. Sehingga model *spherical* yang akan digunakan untuk melakukan penaksiran.

Tabel 8. Nilai Semivariogram Teoritis (pH)

Kelas	$f(h)$	A	B	C
1	2895,509	0,0314	0,0299	0,0300
2	10443,089	0,0314	0,0314	0,0314
3	12479,614	0,0314	0,0314	0,0314
4	22686,006	0,0314	0,0314	0,0314

Untuk mengetahui model semivariogram teoritis terbaik digunakan kriteria nilai SSE menggunakan persamaan (8), dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 9. Hasil Perhitungan SSE (pH)

Model	SSE
<i>Spherical</i>	0,000962
<i>Eksponensial</i>	0,000969
<i>Gaussian</i>	0,000969

Berdasarkan hasil perhitungan nilai SSE diatas, dapat disimpulkan bahwa ketiga model semivariogram teoritis (pH) sudah baik dan ketiga model semivariogram teoritis (pH) bisa digunakan. Pada penelitian ini peneliti menggunakan model *spherical* karena memiliki nilai SSE terkecil yaitu 0,000962. Sehingga model *spherical* yang akan digunakan untuk melakukan penaksiran.

dimana:

- A = Nilai model *spherical*
- B = Nilai model *eksponensial*
- C = Nilai model *gaussian*

Penaksiran Kandungan Korida

Penaksiran kandungan klorida dilakukan di dua titik lokasi sebagai berikut:

Tabel 10. Lokasi Tidak Tersampel

No	Lokasi	<i>Easting</i>	<i>Northing</i>
1	IPA Bantuas	523514	9924837
2	Teluk Lerong	513651	9944504

Langkah pertama adalah menghitung jarak *euclid* antar titik lokasi tersampel dengan titik lokasi yang tidak tersampel. Kemudian menyusun vektor **C** pada lokasi tersampel dan vektor **D** pada lokasi tidak tersampel dengan menggunakan model semivariogram teoritis terbaik pada *cross variabel* (klorida, pH) dan model semivariogram teoritis terbaik pada masing-masing variabel utama (klorida) dan variabel tambahan (pH).

Selanjutnya, menentukan nilai pembobot (vektor **E**) menggunakan persamaan (10). Hasil perhitungan vektor **E** pada lokasi IPA Bantuas adalah sebagai berikut

$$E = C^{-1} \cdot D$$

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_n \\ b_1 \\ \vdots \\ b_m \\ -\mu_1 \\ -\mu_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0,0314 & 0 & \dots & -0,0095 & 1 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0,0314 & \dots & 0 & -0,0095 & \dots & 0 & 1 & 0 \\ 0 & \dots & -0,0095 & 0 & \dots & 0,2857 & 0 & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -0,0095 & \dots & 0 & 0,2857 & \dots & 0 & 0 & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 1 & \dots & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0,2857 \\ \vdots \\ 0,2857 \\ -0,0095 \\ \vdots \\ -0,0095 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_n \\ b_1 \\ \vdots \\ b_m \\ -\mu_1 \\ -\mu_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,1817 \\ \vdots \\ 0,1816 \\ -0,0219 \\ \vdots \\ -0,0242 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Penaksiran kandungan klorida pada lokasi IPA Bantuas menggunakan persamaan (6) adalah sebagai berikut:

$$\hat{u}_0 = \sum_{i=1}^n a_i u_i + \sum_{j=1}^m b_j v_j$$

$$\hat{u}_0 = (a_1 u_1 + a_2 u_2 + K + a_n u_n) + (b_1 v_1 + b_2 v_2 + K + b_m v_m)$$

$$= ((0,1817 \times 1,5) + (0,1823 \times 2,5) + K + (0,1816 \times 2,5)) +$$

$$((-0,0219 \times 6,3) + (0,0149 \times 6,2) + K + (-0,0242 \times 6,6))$$

$$= 1,92 + (-0,0063)$$

$$= 1,91$$

Langkah yang sama juga dilakukan untuk menaksiran kandungan klorida pada lokasi Teluk Lerong. Hasil perhitungan disajikan pada tabel 11 sebagai berikut:

Tabel 11. Hasil Estimasi

Lokasi	Kandungan Klorida (mg/l)
IPA Bantuas	1,91
Teluk Lerong	1,64

Tabel 11 menunjukkan hasil penaksiran kandungan klorida pada IPA Bantuas sebesar 1,91 mg/l dan Teluk Lerong sebesar 1,64 mg/l yang nilainya tidak jauh berbeda dengan kandungan klorida di titik lokasi IPA lainnya. Sehingga, kandungan klorida dalam air di lokasi IPA Bantuas dan Teluk Lerong termasuk dalam kadar layak untuk digunakan oleh masyarakat sebagai kebutuhan sehari-hari karena nilainya berada dibawah 250 mg/l yang merupakan batas maksimum kandungan klorida yang aman untuk dikonsumsi.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian diatas, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Model semivariogram teoritis terbaik untuk penaksiran kandungan klorida di Sungai Mahakam Wilayah Samarinda Kalimantan Timur adalah sebagai berikut:

a. Semivariogram teoritis (klorida, pH)

$$\hat{\gamma}(h) = -0,0095 \left(1 - \exp \left(- \frac{3(h)}{8507,253} \right) \right)$$

b. Semivariogram teoritis (klorida)

$$\hat{\gamma}(h) = \begin{cases} 0,2857 \left(1,5 \left(\frac{h}{2835,751} \right) - 0,5 \left(\frac{h}{2835,751} \right)^3 \right), & h \leq r \\ 0,2857, & h > r \end{cases}$$

c. Semivariogram teoritis (pH)

$$\hat{\gamma}(h) = 0,0314 \left(1 - \exp \left(- \frac{3(h)}{2835,751} \right) \right)$$

2. Hasil penaksiran kandungan klorida di lokasi IPA Bantuas dan Teluk Lerong pada bulan April tahun 2017 menggunakan metode cokriging adalah sebesar 1,91 mg/l dan 1,64 mg/l.

Daftar Pustaka

Awali, A.A., Yasin H., Rahmawati R. 2013. Estimasi Kandungan Hasil Tambang Menggunakan Ordinary Indicator Kriging. *Jurnal Gaussian*, Vol.2, No.1, hal. 1-10. Semarang: Universitas Diponegoro.

Cressie, N. A. C. 1993. *Statistics For Spatial Data*. New York: John Wiley and Sons, Inc.

Fernandes, G. and Calderon, A. 2009. *Spatial Regression Analysis vs. Kriging Methods for Spatial Estimation*. *Int Adv Econ Res* 15: Hal. 44-58.

Isaaks, E. H. and Srivastava, R. M. 1989. *Applied Geostatistics*. New York: Oxford University Press, Inc.

Rachmawati, Dina. 2009. *Pendugaan Kadar NO₂ Dengan Metode Ordinary Kriging dan Cokriging (Studi Kasus: Pencemaran Udara di Kota Bogor)*. Bogor: Departemen Statistika Fakultas MIPA IPB.

Romaji, E. A., Latra, I. N., Sutikno. 2016. *Estimasi Produksi Minyak dan Gas Bumi di Kalimantan Utara Menggunakan Metode Cokriging*. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. Vol. 5, No. 2: Hal. 426-431.