

METODE COKRIGING UNTUK MENGESTIMASI KANDUNGAN AIR DI KOTA PONTIANAK

Marwalida Rachmadiar, Naomi N. Debaraja, Hendra Perdana

INTISARI

Air merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi manusia. Kualitas air dapat ditentukan dengan melihat standar baku mutu kesehatan lingkungan untuk keperluan higiene sanitasi. Salah satu indikator fisik penentu kualitas air adalah Total Dissolved Solid (TDS). TDS adalah indikator yang menunjukkan kandungan padatan terlarut dalam air yang termasuk didalamnya senyawa-senyawa organik dan anorganik, mineral dan garam-garamnya. Salah satu senyawa kimia yang dapat membantu memperkirakan kandungan TDS adalah kesadahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi kandungan TDS dengan metode cokriging. Metode cokriging adalah metode estimasi yang meminimalkan kesalahan estimasi dengan memanfaatkan korelasi silang antara beberapa variabel. Kesadahan menjadi variabel tambahan dalam membantu mengestimasi TDS pada lokasi baru yang ditentukan. Model semivariogram teoritis TDS, kesadahan dan cross semivariogram yang digunakan adalah model exponential. Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan diperoleh estimasi TDS pada sembilan titik lokasi baru yang ditentukan dan airnya digunakan untuk kebutuhan higiene sanitasi masyarakat di sekitar lokasi tersebut. Hasil estimasi TDS terbesar di Parit Tokaya yaitu sebesar 76,3 mg/l dan hasil estimasi terkecil di parit sekitar Jalan Tani yaitu sebesar 17,2 mg/l.

Kata Kunci: variogram, higiene sanitasi, kualitas air, cokriging

PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan hidup manusia khususnya untuk keperluan higiene sanitasi. Dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017, air untuk keperluan higiene sanitasi tersebut digunakan untuk pemeliharaan kebersihan perorangan seperti mandi dan sikat gigi, serta untuk keperluan cuci bahan pangan, peralatan makan, dan pakaian. Selain itu, air untuk keperluan higiene sanitasi dapat digunakan sebagai air baku untuk minum. Kualitas air dapat ditentukan dengan melihat standar baku mutu kesehatan lingkungan untuk keperluan higiene sanitasi. Standar baku mutu kesehatan lingkungan media air untuk keperluan higiene sanitasi menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 meliputi parameter fisik, biologi, dan kimia. Salah satu parameter fisik penentu kualitas air adalah *Total Dissolved Solid* (TDS). Senyawa-senyawa organik dan anorganik yang larut air, mineral dan garam-garamnya termasuk didalam TDS. Salah satu senyawa kimia yang dapat membantu memperkirakan kandungan TDS di dalam air adalah kesadahan. Kesadahan merupakan suatu keadaan dengan kandungan kapur yang berlebihan dalam air.

Kadar TDS dapat diketahui dengan mengambil sampel kandungan TDS di suatu lokasi dan dianalisis di laboratorium. Namun karena keterbatasan dana penelitian, lokasi yang dijadikan sampel tidak bisa menyeluruh sehingga ada lokasi yang tidak dijadikan sampel. Kadar TDS di lokasi yang tidak tersampel dapat diestimasi dengan menggunakan kadar TDS dan kesadahan di lokasi terdekat. Metode yang dapat digunakan adalah kriging, *universal* kriging, *robust* kriging, dan cokriging. Estimasi menggunakan dua variabel menggunakan metode cokriging. Metode cokriging adalah metode estimasi yang meminimalkan varians kesalahan estimasi dengan memanfaatkan korelasi silang antara beberapa variabel [1].

Tujuan dari penelitian ini adalah mengestimasi kandungan TDS dengan metode cokriging. Penelitian ini dapat membantu memberi gambaran kualitas air di Kota Pontianak. Penelitian ini dibatasi pada data penelitian mengenai kandungan TDS dan kesadahan pada air di Kota Pontianak

yang diambil pada tahun 2018. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *stratified random sampling* dan didapatkan 41 lokasi yang memiliki koordinat absis dan ordinat di zona UTM 49S dan kemudian dijadikan sampel. Variabel yang diestimasi dalam penelitian ini adalah variabel TDS, sedangkan variabel yang membantu proses estimasi adalah kesadahan (CaCO_3). Pengerjaan dalam penelitian ini menggunakan bantuan *software Microsoft Excel* dan *R*.

Tahapan estimasi dengan cokriging yang pertama kali dilakukan adalah uji korelasi antara TDS dan kesadahan. Langkah berikutnya adalah melakukan analisis semivariogram eksperimental pada TDS, kesadahan maupun *cross* semivariogram antara TDS dan kesadahan. Langkah berikutnya yaitu melakukan analisis lanjutan dengan mencari nilai semivariogram teoritis. Semivariogram teoritis yang digunakan adalah model *spherical*, *exponential* dan *gaussian*. Setelah nilai semivariogram teoritis didapatkan, selanjutnya mencari model terbaik diantara tiga model semivariogram teoritis dengan mencari nilai semivariogram teoritis yang paling dekat dengan semivariogram eksperimental dengan membandingkan nilai *Mean Square Error* (MSE). Langkah terakhir adalah melakukan estimasi cokriging terhadap TDS di lokasi baru yang telah ditentukan.

VARIOGRAM

Variogram adalah metode analisis keragaman data spasial yang didasarkan pada pengukuran jarak [1]. Variogram didefinisikan sebagai:

$$2\gamma(h) = E[(Z(u+h) - Z(u))]^2 \quad (1)$$

Semivariogram pada jarak h adalah setengah dari variogram dengan simbol $\gamma(h)$. Semivariogram pada jarak h didefinisikan sebagai berikut [1]:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[(Z(u+h) - Z(u))]^2 \quad (2)$$

Adapun unsur-unsur yang terkandung dalam semivariogram [2]:

1. Sill

Sill adalah saat dimana nilai semivariogram cenderung mencapai nilai yang stabil. *Sill* dinotasikan dengan c .

2. Range

Range merupakan jarak pada saat semivariogram mencapai *sill*. *Range* dinotasikan dengan a .

3. Nugget Effect

Pada dasarnya nilai semivariogram selalu bernilai 0 pada titik $h=0$. Akan tetapi, jika nilai semivariogram pada $h=0$ tidak bernilai 0, maka dapat dikatakan bahwa semivariogram mempunyai *nugget effect*.

Semivariogram eksperimental adalah semivariogram yang diperoleh dari hasil pengukuran data spasial yang ada di lapangan. Semivariogram eksperimental dirumuskan sebagai berikut [2]:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(u_i+h) - Z(u_i)]^2 \quad (3)$$

dengan h adalah jarak, $N(h)$ adalah banyaknya pasangan titik yang mempunyai jarak h , $Z(u_i+h)$ merupakan nilai pengamatan di titik u_i+h , dan $Z(u_i)$ merupakan nilai pengamatan di titik u_i . Analisis lebih lanjut yang dilakukan yaitu membandingkan nilai MSE antar model pada semivariogram teoritis. Hal ini bertujuan untuk menentukan model terbaik yang kemudian digunakan untuk perhitungan hasil estimasi. Ada beberapa model semivariogram teoritis yang diketahui, yaitu [2]:

a. Exponential Model

Bentuk semivariogram ini dirumuskan sebagai berikut:

$$\gamma(h) = c \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right] \quad (4)$$

b. *Spherical Model*

Bentuk semivariogram ini dirumuskan sebagai berikut:

$$\gamma(h) = \begin{cases} c \left[\frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right], & \text{jika } h \leq a \\ c, & \text{jika } h > a \end{cases} \quad (5)$$

c. *Gaussian Model*

Bentuk semivariogram ini dirumuskan sebagai berikut:

$$\gamma(h) = c \left[1 - \exp\left(-\left(\frac{h}{a}\right)^2\right) \right] \quad (6)$$

COKRIGING

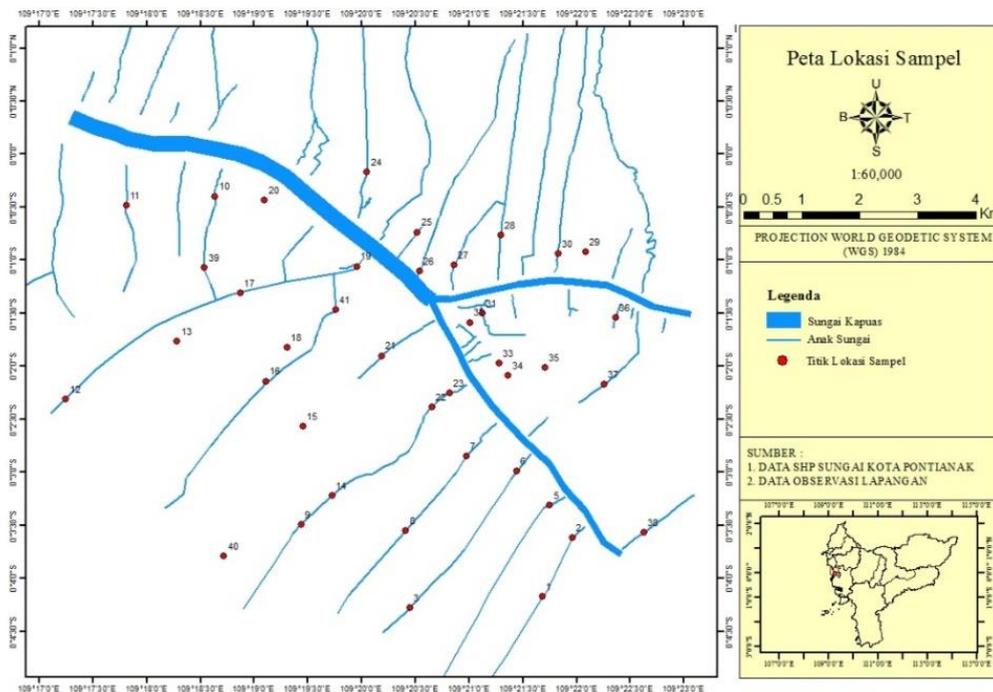
Cokriging adalah metode estimasi yang meminimumkan varians kesalahan estimasi dengan menggunakan korelasi silang antara beberapa variabel [3]. Selain itu, jika seluruh variabel yang diukur pada seluruh lokasi sampel tersebut berkorelasi, maka cokriging lebih tepat digunakan daripada kriging [1]. Cokriging menggunakan variabel tambahan atau sekunder yang disebut juga sebagai kovariat, selain dari variabel utama atau primer. Variabel tambahan tersebut digunakan untuk mengestimasi variabel utama pada lokasi yang tidak disampel. Estimasi cokriging merupakan kombinasi linier dari data variabel primer dan variabel sekunder yang dinyatakan sebagai berikut [3]:

$$\hat{u}_0 = \sum_{i=1}^n a_i u_i + \sum_{j=1}^m b_j v_j \quad (7)$$

di mana \hat{u}_0 adalah estimasi dari U pada lokasi 0; u_1, u_2, \dots, u_n adalah data variabel utama pada n lokasi terdekat; v_1, v_2, \dots, v_m adalah data variabel sekunder pada m lokasi terdekat, a_1, a_2, \dots, a_n dan b_1, b_2, \dots, b_m adalah pembobot cokriging yang harus ditentukan.

ESTIMASI *TOTAL DISSOLVED SOLID* (TDS)

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data penelitian mengenai kandungan TDS dan kesadahan dalam air di permukiman Kota Pontianak yang diambil pada tahun 2018. Pengambilan lokasi sampel dilakukan dengan metode *stratified random sampling*. Populasi dikelompokkan menjadi subpopulasi dengan memperhatikan strata (tingkatan) di dalam populasi. Subpopulasi dibentuk berdasarkan kriteria daerah yang dialiri oleh anak sungai yang sama merupakan daerah yang homogen. Sampel air yang diambil adalah sampel air permukaan yang mengalir. Kemudian dari masing-masing subpopulasi diambil titik-titik lokasi yang menjadi sampel [4]. Terpilihlah 41 titik lokasi yang dijadikan sampel. Penelitian ini menggunakan data titik lokasi yang berupa koordinat garis bujur dan lintang di zona 49 *South* yang dikonversi ke dalam koordinat *Universal Transverse Mercator* (UTM) menjadi *easting* yaitu titik absis (x) dan *northing* yaitu titik ordinat (y). Titik lokasi sampel dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Titik Lokasi Sampel

Dalam penelitian ini TDS berperan sebagai variabel utama dan kesadahan sebagai variabel tambahan. Variabel utama dan variabel tambahan menggunakan satuan mg/l. Ringkasan data variabel yang digunakan dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1 Statistik Deskriptif Data Kualitas Air di Pontianak

	Min	Max
Kesadahan (mg/l)	8,0	68,0
TDS (mg/l)	17,2	156,3

Dalam Tabel 1 dilihat bahwa nilai minimal dari data kesadahan adalah 8 mg/l dan nilai maksimalnya adalah 68 mg/l. Nilai minimal dari data TDS adalah 17,2 mg/l dan nilai maksimalnya adalah 156,3 mg/l. Variabel primer dan variabel sekunder harus memiliki korelasi untuk melakukan estimasi cokriging. Korelasi variabel TDS dan variabel kesadahan adalah sebesar 66% dan bernilai positif dengan tingkat korelasi masuk dalam kategori cukup kuat. Semakin besar kandungan kesadahan maka semakin besar juga kandungan TDS di dalam air.

Semivariogram *Total Dissolved Solid*

Pada Tabel 2 disajikan nilai semivariogram eksperimental dari TDS yang dibantu dengan menggunakan *software R*.

Tabel 2 Nilai Semivariogram Eksperimental TDS

Kelas Jarak	Pasangan ($N(h)$)	Jarak(h)	Semivariogram($\gamma(h)$)
0-1667	87	1214,6010	692,4462
1667-3334	227	2552,4620	1048,2873
3334-5001	237	4145,9130	1336,7207
5001-6668	181	5781,6890	2008,7192
6668-8335	68	7399,2370	2554,4394
8335-10002	18	8998,3400	1880,2742
10002-11669	2	10414,0170	509,6500

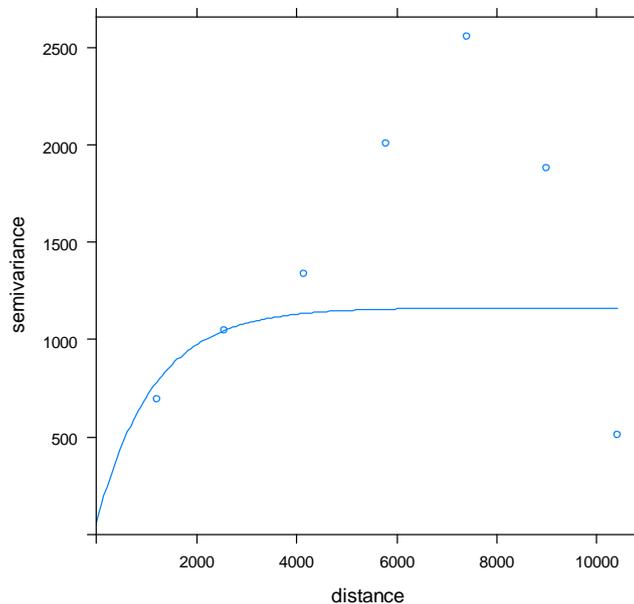
Jumlah total pasangan data adalah jumlah kombinasi data TDS tersampel yaitu $C(41,2) = 820$. Untuk mencari nilai *sill* dan *range* yang akan digunakan harus melakukan analisis lanjutan. Analisis lanjutan adalah dengan mencari nilai semivariogram teoritis. Model semivariogram teoritis dalam penelitian ini adalah semivariogram model *spherical*, *exponential* dan *gaussian*. Nilai *sill* dan *range* yang didapat menggunakan *software R*, digunakan dalam persamaan dari masing-masing semivariogram teoritis.

Tabel 3 Nilai Semivariogram Teoritis TDS Berdasarkan Model

Pasangan ($N(h)$)	Jarak(h)	<i>Spherical</i>	<i>Exponential</i>	<i>Gaussian</i>
87	1214,6010	900,6853	728,5967	600,0225
227	2552,4620	900,6853	991,2909	668,6461
237	4145,9130	900,6853	1079,1260	668,6749
181	5781,6890	900,6853	1100,8930	668,6749
68	7399,2370	900,6853	1106,0030	668,6749
18	8998,3400	900,6853	1107,2220	668,6749
2	10414,0170	900,6853	1107,5020	668,6749
	MSE	761488,7870	564009,0697	1063434,7190

Kemudian analisis lanjutan dilakukan untuk melihat model semivariogram teoritis semivariogram teoritis yang terbaik menggunakan nilai *Mean Square Error* (MSE). Nilai MSE yang terbaik adalah nilai semivariogram teoritis dengan model *exponential* dengan nilai *sill* 1107,6144 dan *range* 1132,6210. Nilai *sill* dan *range* tersebut digunakan dalam proses estimasi TDS. Plot semivariogram TDS model *exponential* dapat dilihat dalam Gambar 2.

Variogram models - Exponential



Gambar 2. Plot Semivariogram TDS Model *Exponential*

Semivariogram Kesadahan ($CaCO_3$)

Dalam Tabel 4 disajikan nilai semivariogram eksperimental dari kesadahan yang dibantu dengan menggunakan *software R*.

Tabel 4 Nilai Semivariogram Eksperimental Kesadahan

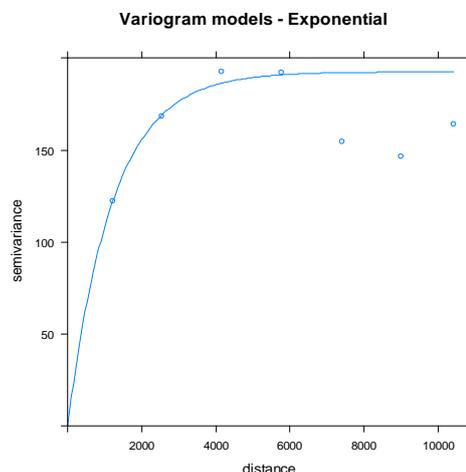
Kelas Jarak	Pasangan ($N(h)$)	Jarak(h)	Semivariogram($\gamma(h)$)
0-1667	87	1214,6010	122,1264
1667-3334	227	2552,4620	168,2731
3334-5001	237	4145,9130	192,4135
5001-6668	181	5781,6890	192,2431
6668-8335	68	7399,2370	154,4559
8335-10002	18	8998,3400	146,5556
10002-11669	2	10414,0170	164,0000

Jumlah total pasangan data adalah jumlah kombinasi data kesadahan tersampel yaitu $C(41,2) = 820$. Untuk mencari nilai *sill* dan *range* yang akan digunakan harus melakukan analisis lanjutan. Analisis lanjutan adalah dengan mencari nilai semivariogram teoritis. Model semivariogram teoritis dalam penelitian ini adalah semivariogram model *spherical*, *exponential* dan *gaussian*. Nilai *sill* dan *range* yang didapat menggunakan *software R*, digunakan dalam persamaan dari masing-masing semivariogram teoritis.

Tabel 5 Nilai Semivariogram Teoritis Kesadahan Berdasarkan Model

Pasangan ($N(h)$)	Jarak(h)	<i>Spherical</i>	<i>Exponential</i>	<i>Gaussian</i>
87	1214,6010	52,5770	122,1223	49,3945
227	2552,4620	98,7237	169,2853	131,1426
237	4145,9130	119,8805	186,3254	163,3655
181	5781,6890	120,0222	190,9364	166,0276
68	7399,2370	120,0222	192,1199	166,0830
18	8998,3400	120,0222	192,4283	166,0834
2	10414,0170	120,0222	192,5054	166,0834
	MSE	3424,9837	625,0335	1245,7865

Kemudian analisis lanjutan dilakukan untuk melihat model semivariogram teoritis yang terbaik menggunakan nilai *Mean Square Error* (MSE). Nilai MSE yang terbaik adalah nilai semivariogram teoritis dengan model *exponential* dengan nilai *sill* 192,5400 dan *range* 1207,5250. Nilai *sill* dan *range* tersebut digunakan dalam proses estimasi TDS. Plot semivariogram kesadahan model *exponential* dapat dilihat dalam Gambar 3.



Gambar 3. Plot Semivariogram Kesadahan Model *Exponential*

Cross Semivariogram

Dalam Tabel 6 disajikan nilai *cross* semivariogram eksperimental dari TDS dan kesadahan yang dibantu dengan menggunakan *software R*.

Tabel 6 Nilai Cross Semivariogram Eksperimental

Kelas Jarak	Pasangan ($N(h)$)	Jarak(h)	Semivariogram($\gamma(h)$)
0-1667	174	1214,6010	231,5994
1667-3334	454	2552,4620	285,4236
3334-5001	474	4145,9130	321,9475
5001-6668	362	5781,6890	410,4392
6668-8335	136	7399,2370	463,9897
8335-10002	36	8998,3400	341,8778
10002-11669	4	10414,0170	285,8000

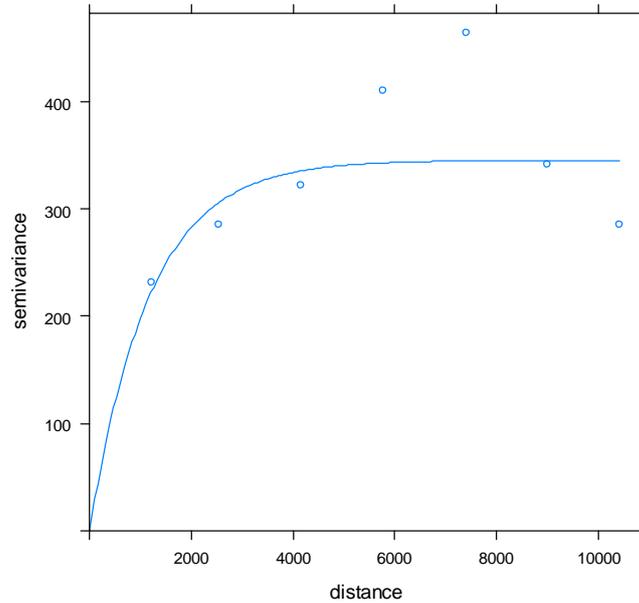
Jumlah total pasangan data adalah jumlah permutasi data TDS dan kesadahan tersampel yaitu $P(41,2) = 1640$. Untuk mencari nilai *sill* dan *range* yang akan digunakan harus melakukan analisis lanjutan. Analisis lanjutan adalah dengan mencari nilai *cross* semivariogram teoritis. Model *cross* semivariogram teoritis dalam penelitian ini adalah *cross* semivariogram model *spherical*, *exponential* dan *gaussian*. Nilai *sill* dan *range* yang didapat menggunakan *software R*, digunakan dalam persamaan dari masing-masing *cross* semivariogram teoritis.

Tabel 7 Nilai Cross Semivariogram Teoritis Berdasarkan Model

Pasangan ($N(h)$)	Jarak(h)	<i>Spherical</i>	<i>Exponential</i>	<i>Gaussian</i>
174	1214,6010	231,5995	223,0357	180,3868
454	2552,4620	310,9036	306,4868	304,3509
474	4145,9130	310,9036	335,5802	311,0980
362	5781,6890	310,9036	343,1404	311,1108
136	7399,2370	310,9036	345,0027	311,1108
36	8998,3400	310,9036	345,4685	311,1108
4	10414,0170	310,9036	345,5806	311,1108
	MSE	5100,4971	3282,3574	5417,7164

Kemudian analisis lanjutan dilakukan untuk melihat model *cross* semivariogram teoritis yang terbaik menggunakan nilai MSE. Nilai MSE yang terbaik adalah nilai *cross* semivariogram teoritis dengan model *exponential* dengan nilai *sill* 345,6284 dan *range* 1171,8230. Nilai *sill* dan *range* tersebut digunakan dalam proses estimasi TDS. Plot *cross* semivariogram TDS dan kesadahan model *exponential* dapat dilihat dalam Gambar 4.

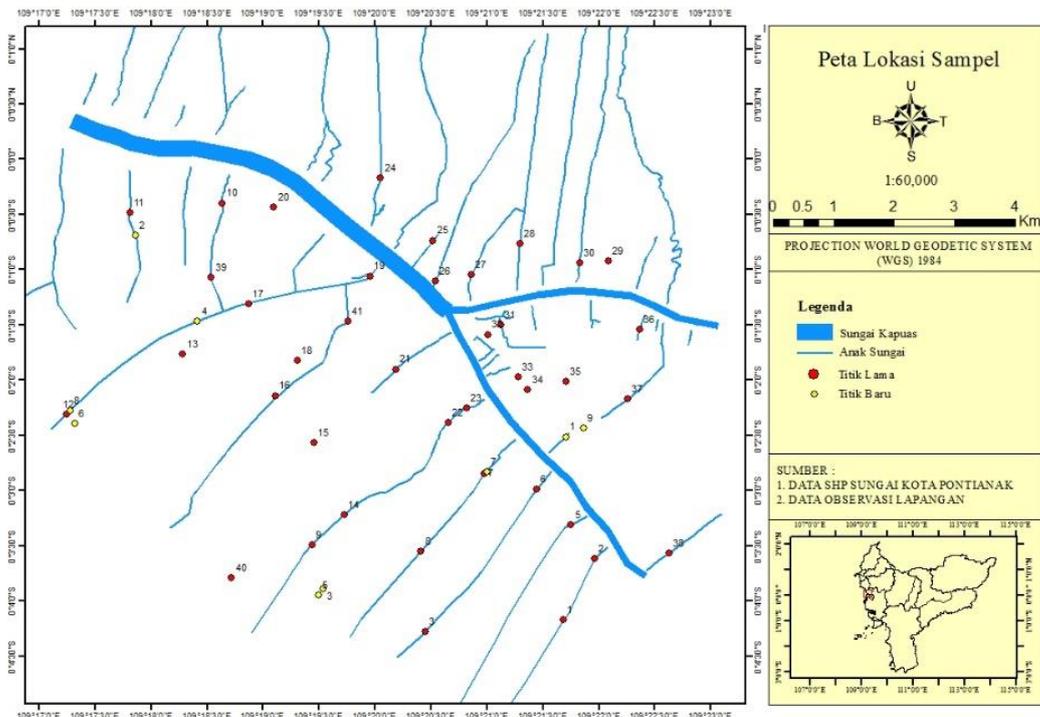
Variogram models - Exponential



Gambar 4. Plot Cross Semivariogram TDS dan Kesadahan Model Exponential

Hasil Estimasi Total Dissolved Solid

Setelah memperoleh bentuk semivariogram teoritis yang paling baik untuk variabel utama, variabel tambahan dan cross semivariogramnya, maka nilai sill dan range dari semivariogram teoritis tersebut digunakan untuk mengestimasi TDS di sembilan titik lokasi baru yang telah ditentukan dengan melihat lokasi air yang masih digunakan masyarakat untuk keperluan higiene sanitasi. Sembilan titik lokasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Peta Lokasi Baru

Nilai *sill* dan *range* yang digunakan dapat dilihat dalam Tabel 8.

Tabel 8 Nilai Sill dan Range Model Semivariogram yang Digunakan

	Model	<i>sill</i>	<i>range</i>
Semivariogram TDS	<i>Exponential</i>	1107,6144	1132,6210
Semivariogram Kesadahan	<i>Exponential</i>	192,5400	1207,5250
<i>Cross</i> Semivariogram	<i>Exponential</i>	345,6247	1171,7940

Digunakan software R untuk membantu dalam proses estimasi TDS. Hasil estimasinya dapat dilihat dalam Tabel 9.

Tabel 9 Nilai Estimasi Total Dissolved Solid di Lokasi yang Belum Tersampel

Lokasi	<i>x</i>	<i>y</i>	Estimasi TDS (mg/l)
Jl Moh Yusuf Karim	317681,9204	9995371,1847	18,0
Jl Karet	310547,9534	9998737,5543	21,4
Jl Parit Demang No 25	313665,1293	9992837,0304	17,6
Jl Puskemas Pal 3	311577,7151	9997300,0380	26,9
Parit Tokaya	313581,6409	9992726,4500	76,3
Jl Ampere	309549,1655	9995598,3137	33,5
Jl Tanjung Harapan	316367,7264	9994787,5605	45,2
Pal 5	309471,8523	9995807,1849	58,6
Jl Tani	317975,6802	9995521,6962	17,2

Pada tabel 9 dapat dilihat bahwa nilai estimasi TDS terbesar berada di parit di Parit Tokaya yang mempunyai koordinat absis 313581,6409 dan ordinat 9992726,4500 dengan kadar TDS sebesar 76,3 mg/l. Nilai estimasi TDS terkecil berada di parit sekitar Jalan Tani dengan absis 317975,6802 dan ordinat 9995521,6962 dengan kadar TDS sebesar 17,2 mg/l.

PENUTUP

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, diperoleh model semivariogram yang digunakan untuk membantu mengestimasi TDS dalam penelitian ini. Semivariogram teoritis TDS yang digunakan adalah model *exponential*, semivariogram teoritis kesadahan yang digunakan adalah model *exponential* dan *cross* semivariogram antara TDS dan kesadahan yang digunakan adalah model *exponential*. Berdasarkan model semivariogram teoritis yang digunakan, diperoleh estimasi TDS di sembilan titik lokasi yang ditentukan dan airnya digunakan untuk kebutuhan higiene sanitasi masyarakat di sekitar lokasi tersebut. Hasil estimasi TDS terbesar di Parit Tokaya yaitu sebesar 76,3 mg/l dan hasil estimasi terkecil di parit sekitar Jalan Tani yaitu sebesar 17,2 mg/l.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Wackernagel, H. *Multivariate Geostatistics : An Introduction with Applications*. Springer, New York; 1995
- [2]. Armstrong, M. *Basic Linear Geostatistics*. Springer, Berlin; 1998
- [3]. Isaaks, H,E, dan Srivastava, R. *Applied Geostatistics*. New York: Oxford University Press; 1989
- [4]. Debataraja, N. N., Kusnandar, D., dan Nusantara , R. W. Identifikasi Lokasi Sebaran Pencemaran Air di Kawasan Permukiman Kota Pontianak. *Jurnal Matematika, Statistika, dan Komputasi*. 2018; 15(1); 37-41.

MARWALIDA RACHMADIAR : Jurusan Matematika FMIPA UNTAN,
Pontianak
marwalidarachmadiar@student.untan.ac.id

NAOMI NESSYANA : Jurusan Matematika FMIPA UNTAN,
DEBATARAJA Pontianak
naominessyana@math.untan.ac.id

HENDRA PERDANA : Jurusan Matematika FMIPA UNTAN,
Pontianak
hendra.perdana@math.untan.ac.id
