

PREDIKSI DATA SPASIAL YANG TIDAK TERSAMPEL DAN MENGANDUNG PENCILAN MENGGUNAKAN METODE *ROBUST KRIGING* (Studi Kasus: Kualitas Udara NO₂ pemukiman di Kota Yogyakarta)

Anisa Rahmasari¹, Noeryanti²

^{1,2}Jurusan Statistika, Fakultas Sains Terapan, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta
Email: anissarhss@gmail.com

Abstarct. *Pollution of air enters the substances that are introduced, energy, or other components into ambient air by human activities, so that the quality of ambient air rises to a certain level that causes ambient air cannot be used activating it. The robust kriging method is the development of the usual kriging method which transforms the weight of the classic semivariogram into a strong semivariogram against outliers in the data. In this research an estimation of the composition of Nitrogen Dioxide (NO₂) gas compounds in Yogyakarta City will be carried out using the robust kriging method. Geostatistics which is a spatial statistical analysis for data assessment by estimation through semivariogram and strong kriging on NO₂ air quality. Next compare the experimental semivariogram and the strong semivariogram with several revised semivariogram models (ball, gaussian, exponential) to get the best model. In this research, NO₂ air quality estimation was conducted in Yogyakarta City consisting of 16 posts. After doing research, the comparison results obtained from the MSE value for the best model are the MSE value of the ordinary spherical model of 144,231 smaller than the spherical robust of 145,659, then the MSE of the gaussian robust model of 137,837 smaller than the ordinary gaussian of 292,041 and exponential robust of 145,574 smaller than ordinary exponential of 150,736.*

Keywords: *Kriging, Air Pollution, Robust Kriging*

Abstrak. Pencemaran udara merupakan masuknya atau dimasukkannya zat, energi, atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Metode *robust kriging* merupakan pengembangan dari metode *ordinary kriging* yang mentransformasikan bobot semivariogram klasik menjadi semivariogram yang *robust* terhadap penciln dalam data. Dalam penelitian ini akan dilakukan prediksi kandungan gas Nitrogen Dioksida (NO₂) di Kota Yogyakarta menggunakan metode *robust kriging*. Tujuan penelitian ini adalah menduga kualitas udara NO₂ dengan metode geostatistik yang merupakan analisis statistik spasial untuk menduga data dengan estimasi melalui semivariogram dan *robust kriging* pada kualitas udara NO₂. Selanjutnya membandingkan nilai semivariogram eksperimen dan semivariogram *robust* dengan beberapa model semivariogram teoritis (*spherical, gaussian, exponential*) untuk mendapatkan model terbaik. Dalam penelitian ini dilakukan pendugaan kualitas udara NO₂ di pemukiman Kota Yogyakarta terdiri dari 16 pos. Didapat hasil perbandingan dari nilai MSE untuk model terbaik yaitu nilai MSE dari model *spherical ordinary* sebesar 144,231 lebih kecil dari *spherical robust* sebesar 145,659, kemudian MSE dari model *gaussian robust* sebesar 137,837 lebih kecil dari *gaussian ordinary* sebesar 292,041 dan *exponential robust* sebesar 145,574 lebih kecil dari *exponential ordinary* sebesar 150,736.

Kata Kunci: *Kriging, Pencemaran Udara, Robust Kriging*

1. Pendahuluan

Pencemaran udara merupakan masuknya atau dimasukkannya zat, energi, atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya (PP Nomor 41 Tahun 1999). Salah satu sumber pencemar udara yaitu senyawa kimia gas nitrogen dioksida (NO₂). Sifat gas (NO₂) adalah berwarna merah kecoklatan dan berbau tajam menyengat hidung.

Dinas Lingkungan Hidup (DLH) telah melakukan suatu pengukuran terhadap gas-gas pencemar udara termasuk gas NO₂ dengan baku mutu yang bernilai baik, dimana nilai baku mutu untuk senyawa NO₂ sebesar 400 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$. Namun, dikarenakan keterbatasan dari sumber daya manusia dan keterbatasan dana tidak banyak titik yang dapat dilakukan pengukuran terkait kadar gas NO₂. Di pemukiman Kota Yogyakarta terdapat 16 titik pemantauan kualitas udara. Kadar gas ini berbeda pada setiap daerahnya dan berubah pada setiap tahunnya sehingga komponen ruang

atau *spatial* merupakan bagian yang berpengaruh dalam kadar gas NO₂ dalam udara tersebut. Oleh karena itu untuk mengetahui kadar gas NO₂ pada suatu titik tertentu yang tidak dilakukan pengukuran digunakanlah suatu metode interpolasi geostatistik.

Penduduk asli maupun penduduk pendatang di Kota Yogyakarta, pada setiap tahunnya mengalami peningkatan. Hal tersebut kemungkinan akan menyebabkan pencemaran udara dikarenakan semakin banyaknya penduduk di kota Yogyakarta, maka penggunaan transportasi juga akan meningkat, pada tahun 2017 jumlah penduduk di kota Yogyakarta sebanyak 422.732 jiwa hingga 2019 sebanyak 431.939 jiwa (BPS, 2019). Senyawa NO₂ di pemukiman Kota Yogyakarta memiliki batas ambang yang baik dengan batas ambang sebesar 400 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ dalam satu jam pengukuran (Dinas Lingkungan Hidup, 2019).

Oleh sebab itu, kota Yogyakarta perlu melakukan prediksi terhadap kualitas udara NO₂ apakah mengalami perubahan yang lebih baik atau lebih buruk dari sebelumnya. Dalam penyelesaian masalah tersebut diperlukan metode *robust* kriging, sehingga dari uraian tersebut peneliti mengambil judul “Estimasi Data Spasial Pencilan Menggunakan Metode *Robust* Kriging pada Pencemaran Udara di Kota Yogyakarta”.

2. Landasan Teori

Pencilan Spasial (*Spatial Outlier*)

Spasial *outlier* (pencilan spasial) adalah nilai lokasi yang tidak konsisten atau menyimpang dari lokasi lainnya. *Spatial outlier* dapat disebabkan oleh mekanisme pengambilan nilai observasi yang berbeda dengan lainnya [22]. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendeteksi adanya *outlier* adalah dengan *spatial statistics Z test* yang didefinisikan sebagai berikut.

$$Z_{u_i(x)} = \left| \frac{u_i(x) - \mu(u_i(x))}{\sigma(u_i(x))} \right| > \theta \tag{1}$$

dengan

$u_i(x)$: selisih data aktual ke- i dengan rata-rata lokasi yang bertetangga dengan data ke- i ; $i=1 \dots n$

$\sigma(u_i(x))$: standar deviasi dari $u_i(x)$

θ : nilai peluang distribusi normal untuk tingkat signifikansi tertentu

$\mu(u_i(x))$: rata-rata dari $u_i(x)$

u_i : kelompok yang bertetangga dari x_i

Variogram dan Semivariogram

Semivariogram adalah perbedaan rata-rata antara dua titik yang terpisah dengan jarak pada arah tertentu. Semivariogram eksperimental adalah semivariogram yang diperoleh dari data hasil pengukuran. Semivariogram digunakan untuk mengukur korelasi spasial berupa variansi selisih pengamatan pada lokasi u dan lokasi berjarak $u + h$. Semivariogram didefinisikan sebagai berikut:

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

Robust Kriging

Kriging sebagai interpolasi spasial yang optimum dapat menghasilkan nilai prediksi yang kurang presisi jika terdapat *outlier* pada data. Untuk mengestimasi data spasial yang mengandung *outlier* maka digunakan metode *Robust Kriging* yang merupakan pengembangan dari metode *Ordinary Kriging*. Estimasi dengan metode *Robust Kriging* menggunakan data spasial yang mengandung *outlier* lalu didapatkan nilai semivariogram eksperimental [15]. Berbeda dengan semivariogram eksperimental pada *Kriging*, untuk mengakomodir adanya *outlier*, variogram untuk *Robust Kriging* dirumuskan sebagai berikut.

$$2\gamma(h) = \frac{\left\{ \frac{1}{|N(h)|} \sum_{i=1}^{N(h)} |z(u_i) - z(u_i+h)|^2 \right\}^{\frac{1}{2}}}{\left(0,457 + \frac{0,494}{|N(h)|} \right)} \quad (4)$$

dengan:

- $2\gamma(h)$ = variogram dengan jarak h
- $z(u_i)$ = nilai pengamatan di lokasi u
- $z(u_i + h)$ = nilai pengamatan di lokasi $u + h$
- $N(h)$ = banyaknya pasangan titik yang mempunyai jarak h

Dari hasil analisis semivariogram eksperimental dan semivariogram teoritis maka selanjutnya dilakukan analisis dengan membandingkan kedua nilai semivariogram kemudian dipilih model semivariogram teoritis dengan MSE terkecil untuk menentukan bobot kriging yang digunakan untuk melakukan prediksi dengan metode *robust kriging* yang disajikan pada persamaan 2.22 berikut.

$$\hat{z}(u) = \sum_{i=1}^n \omega_i(u_i) w(z(u_i)) \quad (5)$$

dengan

- $\hat{z}(u)$ = Nilai prediksi pada variabel u
- $w(z(u_i))$ = Transformasi dari bobot semivariogram yang berfungsi mengurangi nilai ekstrem
- ω_i = Pembobot yang menentukan ukuran jarak antar titik
- $z(u_i)$ = Nilai aktual pada variabel u pada data ke- i

3. Metodologi Penelitian

Data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Yogyakarta, yaitu data hasil pemantauan kualitas udara pemukiman di Kota Yogyakarta pada Semester I (Maret, April, Mei) dan Semester II (September, Oktober, November).

Langkah-langkah penelitian ini adalah:

1. Menganalisis data secara deskriptif.
2. Menentukan data *testing* dan data *training*.
3. Pengujian stasioneritas dengan metode grafik.
4. Pengujian keterkaitan spasial dengan uji *Moran's I*.
5. Mendeteksi data pencilan untuk mengetahui apakah data yang digunakan mengandung pencilan atau tidak dengan menggunakan *z spatial*
6. Prediksi kualitas udara NO₂ di pemukiman Kota Yogyakarta dengan menggunakan metode *Ordinary Kriging* dengan langkah-langkah sebagai berikut.
 - a. Menentukan semivariogram eksperimental.
 - b. Menghitung nilai semivariogram teoritis berdasarkan nilai *sill* dan *range*.
 - c. Melakukan prediksi.
7. Prediksi kualitas udara NO₂ di pemukiman Kota Yogyakarta dengan menggunakan metode *Robust Kriging* dengan langkah-langkah sebagai berikut.
 - a. Menghitung semivariogram *robust*.
 - b. Menghitung nilai semivariogram teoritis berdasarkan nilai *sill* dan *range*.
 - c. Melakukan prediksi.
8. Membandingkan nilai *Mean Square Error* (MSE) untuk ketiga model semivariogram teoritis baik semivariogram *robust* maupun semivariogram eksperimental dan menentukan model terbaik dengan cara memilih nilai *Mean Square Error* (MSE) terkecil.

4. Hasil dan Pembahasan

Pencilan Spasial (*Outlier Spatial*)

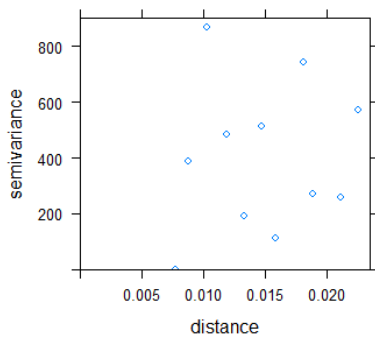
Pada *Robust Kriging* diasumsikan terdapat penciran pada data, pada tahap ini menggunakan *spatial statistics Z test*, dengan hasil perhitungan sebagai berikut.

No	x	$u(x)$	$Z_{u_i(x)}$
1	1,44	-10,1124	0,56
2	1,39	0,878983	0,05
3	3,08	-12,1308	0,65
4	2,52	-11,0412	0,60
5	0,87	-6,83589	0,41
6	0,22	-7,39554	0,43
7	0,01	-15,1163	0,79
8	0,46	-16,1224	0,84
9	0,33	-8,84336	0,50
10	0,15	-5,86444	0,36
11	0,44	-12,1597	0,65
12	0,82	-12,8639	0,69
13	33,19	31,3967	1,38
14	47,96	40,19248	1,79
15	39,68	31,71805	1,39
16	54,60	44,03218	1,97

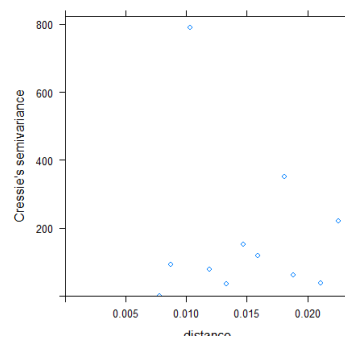
Dari perhitungan diatas, diperoleh nilai yang mengandung *outlier* pada lokasi ke-14 sebesar 1,79 dan ke-16 sebesar 1,97, dimana $Z_{u(x)} > \theta = 1,645$. Sehingga data kualitas udara NO₂ di pemukiman Kota Yogyakarta ini dapat menggunakan metode *Robust Kriging* karena mengandung *outlier*.

Semivariogram Eksperimental dan Semivariogram *Robust*

Salah satu proses kriging adalah membuat semivariogram. Semivariogram mempunyai fungsi untuk menentukan karakteristik korelasi spasial antar lokasi. Pada semivariogram tersebut terdapat nilai jarak dan semivariance yang menunjukkan suatu jarak dimana nilai pada data pengamatan menjadi tidak saling berhubungan atau tidak ada korelasinya. Hasil tersebut akan mendapatkan suatu kelompok data yang berdekatan pada suatu titik. Berikut hasil output dapat disajikan pada Gambar 1. menunjukkan semivariaogram eksperimental dan Gambar 2. semivariogram *robust*.



Gambar 1. Semivariogram Eksperimental



Gambar 2. Semivariogram *Robust*

Hasil yang didapat dari plot semivariogram eksperimental dan semivariogram *robust* disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 2. Pada plot tersebut didapat hasil pengelompokkannya yaitu dapat disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil Pengelompokan Semivariogram Eksperimental

Jumlah Pasang Titik	Jarak Rata-Rata Antar Titik	Semivariance
1	0,00775837	0,07110221
2	0,00874358	387,1043519
3	0,01028663	866,2499855
3	0,01192334	483,0341537
4	0,01327278	193,3432506
4	0,01467931	511,6974068
1	0,01587793	111,3315498
5	0,01810109	744,7889115
2	0,01849647	269,9443336
4	0,02112847	259,3151189
2	0,02257804	571,0409234

Tabel 2. Hasil Pengelompokan Semivariogram *Robust*

Jumlah Pasang Titik	Jarak Rata-Rata Antar Titik	Semivariance
1	0,00775837	0,07476573
2	0,00874358	91,9183802
3	0,01028663	791,119608
3	0,01192334	77,95344499
4	0,01327278	35,33044326
4	0,01467931	150,4644138
1	0,01587793	117,0678757
5	0,01810109	351,0550914
2	0,01849647	61,29124084
4	0,02112847	37,72881988
2	0,02257804	219,9131976

Sebagai contoh menentukan *semivariance* dalam kualitas udara NO₂ menggunakan semivariogram eksperimental dan semivariogram *robust* pada kelompok satu mempunyai satu pasang titik dengan jarak rata-rata 0,007758370, jarak rata-rata tersebut dapat berada pada titik (8,9).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2(1)} \sum_{i=1}^{N(h)} ((0,8202) - (0,4431))^2 = 0,07477$$

$$\gamma(h) = \frac{\left\{ \frac{1}{(1)} \sum_{i=1}^1 |0,8202 - 0,4431|^2 \right\}^4}{2 \left(0,457 + \frac{0,494}{|1|} \right)} = 0,07477$$

Semivariogram Teoritis pada *Ordinary Kriging* Semivariogram Teoritis *Ordinary Kriging*

Setelah ditentukan semivariogram eksperimental, pada masing-masing interpolasi, dilakukan pembuatan semivariogram empiris. Semivariogram empiris terdiri dari 3 model yaitu, *Gaussian*, *Spherical* dan *Exponential*. Model dari semivariogram mempunyai hasil yang berbeda untuk di setiap plot nya.

Gambar 3(a) menunjukkan plot semivariogram dengan pendekatan empiris secara Gaussian, maka model Gaussian pada interpolasi yang digunakan adalah:

Misalkan ingin mengetahui jarak = 0.002

$$\gamma(h) == 155,8204 + 647,8529 \left[1 - \exp \left(- \frac{h}{0,005147711} \right)^2 \right]$$

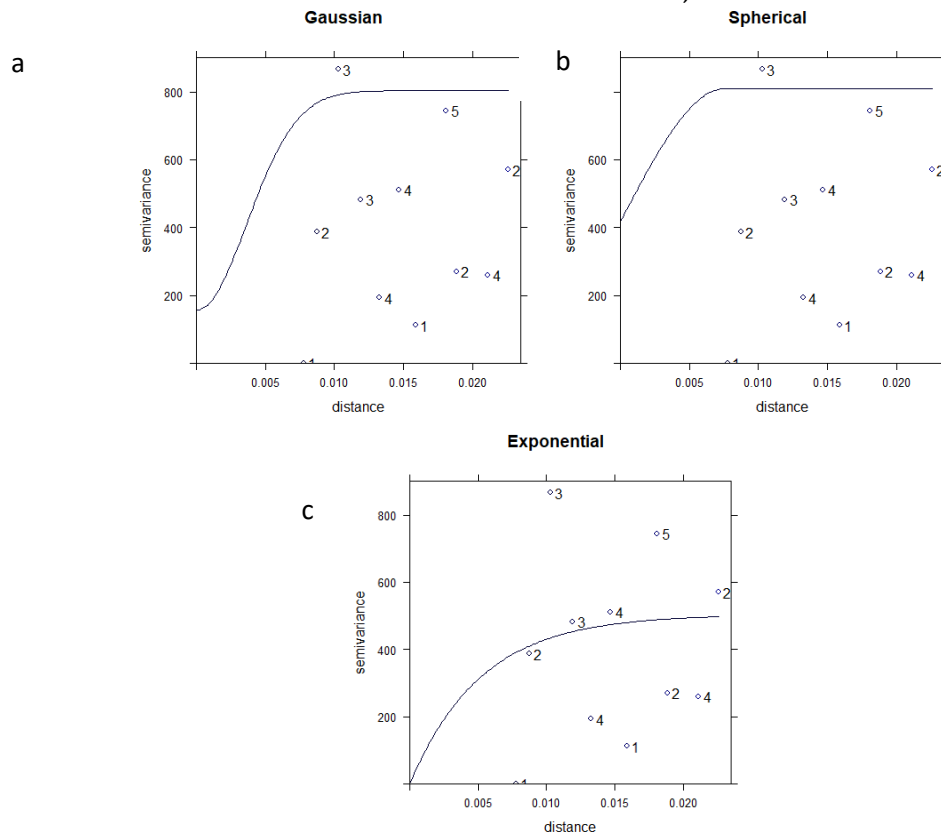
Nilai sill pada model Gaussian sebesar 8023.6733, memiliki arti nilai variance pada model Gaussian akan konstan sebesar 8023.6733. Nilai range pada model Gaussian sebesar 0.00514, memiliki arti jarak nilai variogram pada model Gaussian saat mencapai sill sebesar 0.00514.

Gambar 3(b) menggambarkan plot semivariogram melalui pendekatan empiris Spherical. Pendekatan dengan empiris Spherical akan mendapatkan model Spherical interpolasi sebagai berikut:

$$\gamma(h) = 17,8085 + 391,2842 \left[\frac{3h}{2(0,00752)} - \left(\frac{h}{2(0,00752)} \right)^2 \right]$$

Gambar 3(c) menunjukkan plot semivarogram dengan pendekatan empiris eksponensial. Pendekatan empiris eksponensial akan mendapatkan model eksponensial sebagai berikut:

$$\gamma(h) = 0,000 + 503,9115 \left[1 - \exp \left(- \frac{h}{0,005206907} \right) \right]$$



Gambar 3. Semivariogram Teoritis *Ordinary Kriging*
 (a) Gaussian (b) Spherical (c) Eksponensial

Semivariogram Teoritis *Robust Kriging*

Gambar 4(a) menunjukan plot semivariogram dengan pendekatan empiris secara Gaussian. maka model Gaussian pada interpolasi yang digunakan adalah:

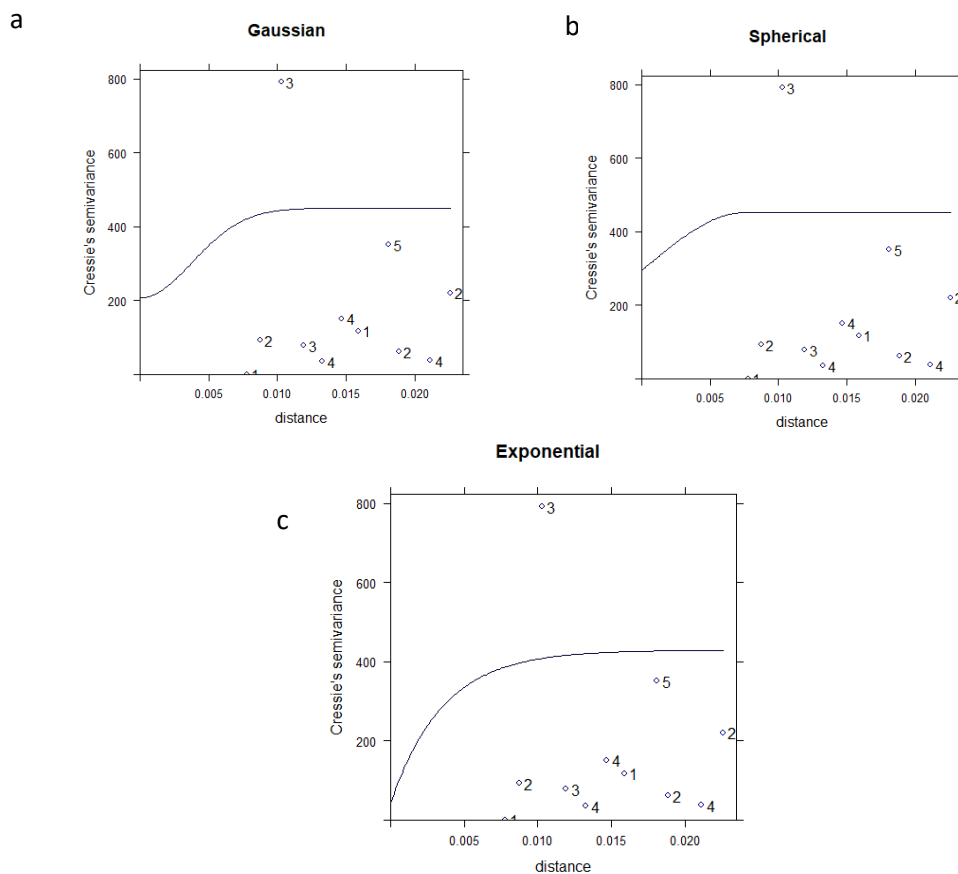
$$\gamma(h) = 207,1933 + 242,8230 \left[1 - \exp \left(- \frac{h}{0,005336829} \right)^2 \right]$$

Nilai sill pada model Gaussian sebesar 450.0163, memiliki arti nilai variance pada model Gaussian akan konstan sebesar 450.0163. Nilai range pada model Gaussian sebesar 0.0053, memiliki arti jarak nilai variogram pada model Gaussian saat mencapai sill sebesar 0.0053.

Gambar 4(b) menggambarkan plot semivariogram melalui pendekatan empiris *Spherical*. Pendekatan dengan empiris *Spherical* akan mendapatkan model *Spherical* interpolasi sebagai berikut:

$$\gamma(h) = 294,3709 + 157,4112 \left[\frac{3h}{2(0,00752)} - \left(\frac{h}{2(0,00752)} \right)^2 \right]$$

Gambar 4(c) menunjukkan plot semivarogram dengan pendekatan empiris eksponensial. Pendekatan empiris eksponensial akan mendapatkan model eksponensial sebagai berikut: $\gamma(h) = 43,51564 + 385,95206 \left[1 - \exp \left(-\frac{h}{0,0035506637} \right) \right]$



Gambar 4. Semivariogram Teoritis *Robust Kriging* Gaussian (b) *Spherical* (c) *Eksponensial*

Hasil Prediksi

Setelah di tentukan model semivariogram, langkah selanjutnya adalah melakukan prediksi kedua metode. Hasil prediksi beserta titik-titiknya dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Prediksi *Ordinary Kriging*

Data Aktual	Prediksi			Perhitungan MSE		
	Spherical	Gaussian	Exponential	Spherical	Gaussian	Exponential
1,4416	13,984	-7,781	13,108	157,312	85,063	136,112
0,8651	13,984	6,096	13,853	172,106	27,365	168,674

Data Aktual	Prediksi			Perhitungan MSE		
	Spherical	Gaussian	Exponential	Spherical	Gaussian	Exponential
3,0753	13,238	30,710	15,217	103,275	763,693	147,423
MSE				144,231	292,041	150,736

Berdasarkan tabel 1 perhitungan prediksi dilakukan dengan menggunakan model semivariogram teoritis *Spherical*, *Gaussian*, dan *Exponential*. Masing-masing model menghasilkan prediksi yang berbeda-beda. Kualitas udara NO₂ di lokasi 1 mempunyai nilai kualitas udara NO₂ sebesar 1,4416 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$. Hasil prediksi melalui model *Spherical*, *Gaussian*, dan *Exponential* adalah 13,984 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$, -7,781 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$, dan 13,108 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$. Kualitas udara NO₂ di lokasi 3 mempunyai nilai kualitas udara NO₂ sebesar 0,8651 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$. Hasil prediksi melalui model *Spherical*, *Gaussian*, dan *Exponential* adalah 13,984 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$, 6,096 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$, dan 13,853 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$. Sementara itu, kualitas udara NO₂ di lokasi 5 mempunyai nilai kualitas udara NO₂ sebesar 3,0753 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$. Hasil prediksi melalui model *Spherical*, *Gaussian*, dan *Exponential* adalah 13,238 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$, 30,710 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$, dan 15,217 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$. Dengan nilai MSE yang terkecil pada model *spherical* untuk metode *ordinary kriging*.

Tabel 2. Prediksi *Robust Kriging*

Data Aktual	Prediksi			Perhitungan MSE		
	Spherical	Gaussian	Exponential	Spherical	Gaussian	Exponential
1,4416	13,984	14,018	13,765	157,312	158,170	151,862
0,8651	13,984	14,018	13,943	172,106	173,011	171,044
3,0753	13,446	12,149	13,744	107,558	82,329	113,816
MSE				145,659	137,837	145,574

Berdasarkan Tabel 2 perhitungan prediksi dilakukan dengan menggunakan model semivariogram teoritis *Spherical*, *Gaussian*, dan *Exponential*. Masing-masing model menghasilkan prediksi yang berbeda-beda. Kualitas udara NO₂ pada data koordinat *longitude* 110,3916 dan *latitude* -7,79983 berada di lokasi 1 mempunyai nilai kualitas udara NO₂ sebesar 1,4416 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$. Hasil prediksi melalui model *Spherical*, *Gaussian*, dan *Exponential* adalah 13,984 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$, 14,018 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$, dan 13,764 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$. Kualitas udara NO₂ pada data koordinat *longitude* 110,3916 dan *latitude* -7,79983 berada di lokasi 3 mempunyai nilai kualitas udara NO₂ sebesar 0,8651 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$. Hasil prediksi melalui model *Spherical*, *Gaussian*, dan *Exponential* adalah 13,984 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$, 14,018 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$, dan 13,943 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$. Sementara itu, kualitas udara NO₂ pada data koordinat *longitude* 110,3916 dan *latitude* -7,79983 berada di lokasi 5 mempunyai nilai kualitas udara NO₂ sebesar 1,4416 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$. Hasil prediksi melalui model *Spherical*, *Gaussian*, dan *Exponential* adalah 13,446 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$, 12,149 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$, dan 13,744 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$. Dengan nilai MSE terkecil adalah model *gaussian* untuk metode *robust kriging*.

5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan perbandingan model dapat dilihat bahwa nilai MSE dari model *spherical ordinary* sebesar 144,231 lebih kecil dari *spherical robust* sebesar 145,659, kemudian MSE dari model *gaussian robust* sebesar 137,837 lebih kecil dari *gaussian ordinary* sebesar 292,041 dan *exponential robust* sebesar 145,574 lebih kecil dari *exponential ordinary* sebesar 150,736.

Daftar Pustaka

[1] Aini NE, 2015, Metode Robust Kriging dan Penerapannya pada Data Geostatistika. Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
 [2] Aisyah N, 2014, Interpolasi Nilai Properti Reservoir di Lapangan "Z" Perairan Laut Jawa Dengan Metode Ordinary Kriging dan Cokriging, Institut Teknologi Surabaya, Surabaya.

- [3] Alfiana A, 2010, Metode *Ordinary Kriging* pada Geostatistika, Program Pascasarjana Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- [4] Astutik S, 2018, Interpolasi Robust Kriging pada Data Curah Hujan *Outlier* Bulan Maret 2015, UIN Raden Intan, Lampung.
- [5] Auliana D, 2016, Interpolasi Spasial dengan Metode Universal Kriging untuk Data Yang Tidak Tersampel, Yogyakarta.
- [6] Awali AA, 2013, Estimasi Kandungan Hasil Tambang Menggunakan *Ordinary Indicator Kriging*, Jurnal Gaussian Vol 1, No 1, pp 1-10, Semarang.
- [7] Bohling G, 2005, *Introduction to Geostatistics and Variogram Analysis*, Geological Survey, Kansas.
- [8] Cressie NA dan Hawkins DM, 1993, Robust Estimation of Variogram Mathematical Geology, pp 115-125, New York.
- [9] Darmanto dan Soepraptini, 2009, *Robust Kriging Untuk Interpolasi Spasial Pada Data Spasial Berpencilan (Outlier)*, Universitas Brawijaya, Malang.
- [10] Edward dan Srivastava, 1989, *Applied Geostatistics*, Oxford University Express, New York
- [11] Eldeiry A dan Garcia LA., 2009, *Comparison of Regression Kriging and Cokriging Techniques to Estimates Soil Salinity Using Landsat Images*, Colorado State University, USA.
- [12] Fernandes G dan Calderon A, 2009, Spatial Regression Analysis vs Kriging Methods for Spatial Estimation, pp 44-58, Kolkata.
- [13] Fischer, Manfred M. dan Getis A, 2010, *Handbook of Applied Spatial Analytics*, Springer, New York.
- [14] Fotheringham, 2002, *Geographically Weighted Regression The Analysis Of Spatially Varying Relationships*, USA.
- [15] Fridayani N, Kencana P dan Sukarsa K, 2012, Perbandingan Interpolasi Spasial Dengan Metode *Ordinary* dan *Robust Kriging* pada Data Spasial Berpencilan (Studi Kasus Curah Hujan di Kabupaten Karangasem), *E-Jurnal Matematika 1*, pp 68-74. Bali.
- [16] Hawkins, Williams dan Baxter, 1980, *Outlier detection using replicator neural network*, Aix en Provence, Proceedings of the Fifth International Conference and Data Warehousing and Knowledge Discovery, France.
- [17] Isaaks HE dan Srivastava RM, 1989, *Applied Geostatistics*, Oxford University Press, New York.
- [18] Kumar V dan Remadevi, 2006, *Kriging of Groundwater Level - A Case Study Journal of Spatial Hydrology*, 6(1) 81-94. USA.
- [19] Lee, Jay dan David, Wong SW, 2001, *Statistical Analysis with Arcview GIS*, In New York John Wiley and Sons, New York.
- [20] Makridaris S, dkk, 1999, *Metode dan Aplikasi Peramalan*, Binarupa Aksara, Jakarta.
- [21] Paul JC dan Delfiner P, 1999, *Geostatistics Modelling Spatial Uncertainty*, John Wiley & Sons, New York.
- [22] Shekhar S, Lu C dan Zhang P, 2003, *A Unified Approach to Detecting Spatial Outliers, Geoinformatica*, pp 139-166. USA.
- [23] Suharto, 2011, *Limbah Kimia dalam Pencemaran Udara dan Air*, Andi, Yogyakarta.
- [24] Suprajitno M, 2005, *Pengantar Geostatistik*, Universitas Indonesia, Jakarta
- [25] Wahyudi AS, Sugito dan Ispriyanti D, 2016, Metode Robust Kriging untuk Mengestimasi Data Spasial Berpencilan, *Jurnal Gaussian*, 5(3), pp. 321-330. Semarang.
- [26] Wardhana WA, 2001, *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Edisi Revisi, Andi, Yogyakarta.
- [27] Wijayanti FK, 2015, Penerapan Metode Ordinary Kriging untuk Pendugaan Kandungan Kimia Air Tanah di Daerah Tempat Pembuangan Sampah Terpadu (TPST), Yogyakarta.
- [28] Yendra R, dan Risman RR, 2019, Penerapan Metode Ordinary Kriging pada Pendugaan Kriminalitas di Kota Pekanbaru Riau, *Jurnal Sains Matematika dan Statistika*, 5(1), Riau.