

Pemodelan *Mixed Geographically Weighted Regression Multivariate* Pada Pencemaran Kualitas Air *Chemical Oxygen Demand (COD)* dan *Biological Oxygen Demand (BOD)* di Kali Surabaya

Hani Khaulasari dan Purhadi

Jurusan Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jalan Arief Rahman Hakin, Surabaya 60111

E-mail : purhadi@statistika.its.ac.id,

Abstrak—Kali Surabaya adalah salah satu sungai di Jawa Timur yang menjadi sorotan masyarakat karena tingkat pencemarannya yang tinggi. Pemerintah Kota Surabaya sejak tahun 2005 menggalakkan program peduli lingkungan “*Surabaya Green and Clean*”, akan tetapi hingga tahun ini program tersebut belum tercapai secara maksimal. Oleh karena itu, dalam penelitian ini ingin mendapatkan model pencemaran kualitas air COD dan BOD di Kali Surabaya serta mendapatkan faktor-faktor yang berpengaruh pada pencemaran air kali Surabaya dengan menggunakan metode MGWRM. Data diambil di 30 titik lokasi Kali di Surabaya. Faktor global yang mempengaruhi pencemaran kualitas air COD di bulan Juli 2013 yaitu kecepatan air sedangkan untuk respon BOD yaitu kecepatan air, nitrat, amonia, nitrit dan deterjen. Faktor lokal yang mempengaruhi pencemaran kualitas air COD di bulan Juli 2013 tidak ada sedangkan faktor lokal yang mempengaruhi pencemaran kualitas air BOD adalah kedalaman dan fosfat. Faktor global yang mempengaruhi pencemaran kualitas air COD di bulan September 2013 yaitu kecepatan air sedangkan untuk respon BOD yaitu kecepatan air dan nitrit. Faktor lokal yang mempengaruhi pencemaran kualitas air COD di bulan September 2013 tidak ada sedangkan faktor lokal yang mempengaruhi pencemaran kualitas air BOD adalah deterjen. Faktor global yang mempengaruhi pencemaran kualitas air COD di bulan Nopember 2013 yaitu kecepatan air sedangkan untuk respon BOD yaitu kecepatan air dan nitrit. Faktor lokal yang mempengaruhi pencemaran kualitas air COD di bulan Nopember 2013 tidak ada sedangkan faktor lokal yang mempengaruhi pencemaran kualitas air BOD adalah amonia.

Kata Kunci—BOD, COD, GWRM, MGWRM, *Regresi Multivariat*.

I. PENDAHULUAN

KALI Surabaya adalah salah satu sungai di Jawa Timur yang menjadi sorotan masyarakat karena tingkat pencemarannya yang tinggi. Pemerintahan Kota Surabaya sejak tahun 2005 menggalakkan program peduli lingkungan “*Surabaya Green and Clean*”, akan tetapi hingga tahun ini program tersebut belum tercapai secara maksimal. Oleh karena itu, dalam rangkai membantu program tersebut, pada penelitian ini ingin memodelkan

pencemaran kualitas COD dan BOD di Kali Surabaya dan mendapatkan faktor-faktor yang mempengaruhi pencemaran air kali di Surabaya di bulan Juli, September dan Nopember 2013.

Menurut [1], faktor-faktor yang mempengaruhi pencemaran air kali di Surabaya pada setiap lokasi pengamatan berbeda-beda sehingga diperlukan metode yang mempertimbangkan adanya faktor lokasi, metode tersebut adalah *Geographically Weighted Regression (GWR)*. Pada kenyataannya tidak semua variabel dalam model GWR mempunyai pengaruh secara spasial. Beberapa variabel prediktor berpengaruh secara global sedangkan yang lain dapat mempertahankan pengaruh spasialnya. Oleh karena itu, dari model GWR dikembangkan menjadi model *Mixed Geographically Weighted Regression (MGWR)*

Penelitian dengan menggunakan metode MGWR telah dilakukan oleh [2] dan [3]. Model-model yang telah dijelaskan pada penelitian sebelumnya merupakan model spasial *univariate*, dimana dalam pengamatannya hanya memiliki satu variabel respon yang tergantung pada lokasi pengamatan. Pada penelitian ini terdiri atas variabel respon lebih dari satu yang tergantung pada lokasi pengamatan, (model spasial *multivariate*) yaitu pencemaran kualitas air sungai secara kimia yang diukur dari indikator COD dan BOD. Oleh karena itu, penelitian yang diadopsi dari [3] akan dikembangkan dengan pendekatan metode *Mixed Geographically Weighted Regression Multivariate (MGWRM)*. Penelitian dengan menggunakan metode MGWRM pernah dilakukan oleh [4].

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan yang digunakan adalah sebagai berikut.

A.. *Model GWR Multivariat (GWRM)*

Sebelum melakukan pemodelan GWR Multivariat, dilakukan pemodelan regresi multivariate. Model regresi *multivariate* ialah model linier dengan variabel respon lebih dari satu. Persamaan Modelnya adalah [4].

$$y_h = X\beta_h + \varepsilon_h \quad (1)$$

Jika pada pemodelan regresi multivariate asumsi kehomogenitas matriks varians kovarians tidak terpenuhi.

Hal ini mengindikasikan terjadinya heterogenitas spasial, sehingga dilanjutkan ke pemodelan GWRM.

GWRM merupakan pengembangan dari model regresi multivariate dengan penaksir parameter bersifat lokal untuk setiap lokasi pengamatan. Pada GWRM vector *error* ε diasumsikan berdistribusi normal *multivariate* dengan mean nol dan matriks varian kovarian Σ pada setiap lokasi (u_i, v_i) . Dalam GWRM koordinat lokasi (u_i, v_i) menjadi salah satu faktor penting dalam menentukan pembobot yang digunakan untuk menaksir parameter GWRM [5]. Persamaan Model GWRM adalah sebagai berikut.

$$y_{ih} = \beta_{oh}(u_i, v_i) + \beta_{1h}(u_i, v_i)x_{i1} + \dots + \beta_{ph}(u_i, v_i)x_{ip} + \varepsilon_{ih} \quad (2)$$

dengan $h=1,2,\dots,q$ dan $i=1,2,\dots,n$

B. Model Mixed GWR Multivariat

Apabila tidak semua variabel prediktor pada GWRM mempunyai pengaruh secara lokal, sebagian berpengaruh secara global, maka model yang seperti ini disebut model *mixed geographically weighted regression multivariate*. MGWRM dengan p variabel prediktor dimana b variabel prediktor bersifat lokal dan p-b variabel prediktor bersifat global, serta dengan mengasumsikan intersep model bersifat lokal dapat dinyatakan sebagai berikut [4].

$$y_{ih} = \beta_{oh}(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^b \beta_{kh}(u_i, v_i) x_{ik} + \sum_{k=b+1}^p \beta_{kh} x_{ik} + \varepsilon_{ih}, \quad (3)$$

$i = 1, 2, \dots, n$ dan $h = 1, 2, \dots, q$

Penaksir parameter model linier multivariat pada respon ke-h bersifat global adalah [4].

$$\hat{\beta}_{gh} = [\hat{\beta}_{(b+1),h} \quad \hat{\beta}_{(b+2),h} \quad \dots \quad \hat{\beta}_{p,h}]^T = [X_g^T (I - S_1)^T (I - S_1) X_g]^{-1} X_g^T (I - S_1)^T (I - S_1) y_h \quad (4)$$

Penaksir koefisien lokal pada lokasi (u_i, v_i) pada respon ke-h adalah [4].

$$\hat{\beta}_{lh}(u_i, v_i) = [X_l^T W(u_i, v_i) X_l]^{-1} X_l^T W(u_i, v_i) (y_h - X_g \hat{\beta}_{gh}) \quad (5)$$

Penaksir parameter matriks varians kovarians error (Σ) MGWRM adalah [4].

$$\Sigma_{MGWRM} = \frac{SSPE}{n - \text{rank}(X)} = \frac{Y^T (I - S)^T (I - S) Y}{\text{tr}((I - S)^T (I - S))} \quad (6)$$

Uji kesesuaian model MGWRM dengan model regresi multivariate adalah [4].

$H_0 : \beta_{kh}(u_i, v_i) = \beta_{kh}$
 $H_1 : \text{minimal ada satu } \beta_{kh}(u_i, v_i) \neq \beta_{kh}$
 untuk $k = 1, 2, \dots, p$ dan $h = 1, 2, \dots, q$
 Statistik Uji :

$$F'(1) = \frac{|Y^T (I - H) Y - (Y^T (I - S)^T (I - S) Y)|}{\frac{n - p - u_1}{|Y^T ((I - S)^T (I - S) Y)|} \left(\frac{u_1^2}{u_2}\right)} \quad (7)$$

Daerah kritis :

Tolak H_0 jika nilai dari $F'(1) > F_{\left(\alpha, (n-p-u_1), \left(\frac{u_1^2}{u_2}\right)\right)}$

atau $P\text{-Value} < \alpha$

Uji serentak pada MGWRM dilakukan dengan hipotesis sebagai berikut [4].

$H_0 : \beta_{1h}(u_i, v_i) = \beta_{2h}(u_i, v_i) = \dots = \beta_{bh}(u_i, v_i) = \beta_{(b+1),h} = \beta_{(b+2),h} = \dots = \beta_{ph} = 0$
 $H_1 : \text{minimal ada satu } \beta_{bh}(u_i, v_i) = \dots = \beta_{ph} \neq 0$

Statistik Uji :

$$F'(2) = \frac{|(Y^T (I - S_{1\omega})^T (I - S_{1\omega}) Y)|}{\frac{(u_{1\omega}^2)}{(u_{2\omega}^2)}} \frac{|(Y^T (I - S)^T (I - S) Y)|}{\left(\frac{u_1^2}{u_2}\right)} \quad (8)$$

Daerah kritis : Tolak H_0 jika nilai dari $F'(2) > F_{\left(\alpha, \frac{u_{1\omega}^2}{u_{2\omega}^2}, \frac{u_1^2}{u_2}\right)}$

Pengujian signifikansi variabel global secara parsial $x_k (b + 1 \leq k \leq p)$ dilakukan dengan hipotesis sebagai berikut [4].

$H_0 : \beta_{kh} = 0$
 $H_1 : \beta_{kh} \neq 0$
 untuk $h = 1, 2, \dots, q$ dan $(b + 1 \leq k \leq p)$

Statistik Uji :

$$t_{(g)} = \frac{\hat{\beta}_{kh}}{SE(\hat{\beta}_{kh})} \quad (9)$$

Daerah kritis:

Tolak H_0 jika nilai dari $|t_{(g)}| > t_{\left(\frac{\alpha}{2}, (n - \text{rank}(X_g))\right)}$

Pengujian signifikansi variabel lokal $x_k (1 \leq k \leq b)$ dilakukan dengan hipotesis sebagai berikut [4].

$H_0 : \beta_{kh}(u_i, v_i) = 0$
 $H_1 : \beta_{kh}(u_i, v_i) \neq 0$, untuk $h = 1, 2, \dots, q$ dan $(1 \leq k \leq b)$

Statistik Uji :

$$t_{(l)} = \frac{\hat{\beta}_{kh}(u_i, v_i)}{SE(\hat{\beta}_{kh}(u_i, v_i))} \quad (10)$$

Daerah kritis:

Tolak H_0 jika nilai dari $|t_{(l)}| > t_{\left(\frac{\alpha}{2}, (n - \text{rank}(X_l))\right)}$

Metode dalam pemilihan MGWRM terbaik, salah satunya adalah *Akaike Information criterion (AIC)* yang didefinisikan sebagai berikut.

$$AIC = |\hat{\Sigma}_{MGWRM}| + 2p \left\{ \frac{n}{n-p-1} \right\} \quad (11)$$

Model dikatakan semakin baik, apabila nilai AICnya semakin kecil [4].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data sekunder, yang diperoleh dari Badan Lingkungan Hidup Kota Surabaya. Unit penelitian dilakukan di 30 titik lokasi kali di Surabaya yang berupa kali, saluran air dan boezem di Surabaya. Data diambil pada bulan Juli, September, Nopember 2013. Variabel penelitian yang digunakan yaitu variabel respon Y_1 (COD) dan Y_2 (BOD) kemudian variabel prediktor yaitu X_1 (lebar sungai), X_2 (kedalaman sungai),

X₃ (kecepatan air), X₄ (debit air), X₅ (fosfat), X₆ (Nitrat), X₇ (Amonia), X₈ (Nitrit), X₉ (Suhu air) dan X₁₀ (deterjen). Dimana variabel panjang, lebar, kedalaman, kecepatan, debit air dan suhu berasal dari kondisi fisik kali kemudian fosfat adalah sumber pencemaran yang diidentifikasi dari limbah peternakan, nitrat dan deterjen adalah sumber pencemaran yang diidentifikasi dari limbah domestic serta ammonia dan nitrit adalah sumber pencemaran yang diidentifikasi dari limbah industri.

Tahapan dalam analisis data meliputi melakukan deskriptif data, melakukan uji multikolinieritas, melakukan uji korelasi variabel respon, melakukan pemodelan regresi multivariate, melakukan pemodelan *Geographically Weighted Regression Multivariate* (GWRM) jika terjadi heterogenitas spasial, melakukan pemodelan *Mixed Geographically Weighted Multivariate Regression* (MGWRM) jika ada variabel lokal dan variabel global, menentukan model terbaik dengan menggunakan AIC terkecil, kesimpulan dan saran

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Deskriptif Data Kondisi Kali di Surabaya

Hasil deskripsi data kondisi kali Surabaya pada **Tabel 1**, menggambarkan bahwa nilai minimum pada COD dan BOD melebihi batas spesifikasi maksimum kelas I (kelas air minum). Pencemaran air kali di Surabaya yang diukur dari indikator kadar COD dan BOD tertinggi terjadi pada bulan Nopember 2013, kadar COD tertinggi terjadi di lokasi Kalimas di Jembatan Ngagel sedangkan kadar BOD tertinggi terjadi di lokasi Kalimas di Jembatan Keputran Selatan. Jika dilihat dari titik pengamatan antara nilai minimum dan nilai maksimum pada sumber pencemaran (Fosfat, Nitrat, Amonia, Nitrit dan Deterjen) maka kadar sumber pencemaran air kali di Surabaya tersebut berada diluar batas spesifikasi maksimum kelas I (kelas air minum). Kadar fosfat yang berasal dari limbah peternakan tertinggi terjadi pada bulan September 2013 di lokasi kali Pegirian di Jl Pegirian. Kadar nitrat yang berasal dari limbah domestik tertinggi terjadi pada bulan Nopember 2013 di lokasi boezem Morokrengan. Kadar ammonia yang berasal dari limbah industri tertinggi terjadi pada bulan September 2013 di lokasi saluran di pompa air Tambak Wedi. Kadar nitrit yang berasal dari limbah industri tertinggi terjadi pada bulan Juli 2013 di lokasi kali Wonorejo di Jembatan Kedung Baruk. Kadar deterjen yang berasal dari limbah domestic tertinggi terjadi pada bulan Juli 2013 di lokasi kali Pegirian di Jl Pegirian. Kali banyu urip di jembatan Balongsari Tama adalah kali yang lebarnya terpendek. Boezem kedurus merupakan lokasi yang terlebar. Saluran Dinoyo merupakan lokasi dengan kedalaman terkecil. Kali Surabaya di Kedurus adalah kali dengan kedalaman terbesar. Kali Wonokromo di jembatan Merr II merupakan lokasi dengan kecepatan airnya terbesar sedangkan Kali Jeblokan di Kedung Cowek merupakan lokasi dengan kecepatan airnya terkecil dan kecepatan air terbesar terjadi pada bulan September dan Nopember

2013. Kali Bokor di jembatan Pucang merupakan lokasi dengan debit air terkecil sedangkan kali Makmur di Lidah Kulon Jl Bangkingan merupakan lokasi kali dengan debit air terbesar dan debit air terbesar terjadi pada bulan Nopember 2013.

Tabel 1.
Nilai Minimum, Maksimum Kondisi Kali di Surabaya Pada Bulan Juli (1), September (2), Nopember (3) Tahun 2013

simbol	variabel	bulan	minimum	maksimum	batas spesifikasi maksimum
Y ₁	COD	1	10,52	97,48	10 mg/l
		2	10,09	97,31	
		3	10,05	99,41	
Y ₂	BOD	1	3,52	17,90	2 mg/l
		2	2,03	19,53	
		3	4,22	23,42	
X ₁	Lebar	1	4,00	65,00	-
		2	4,00	65,00	
		3	4,00	65,00	
X ₂	Kedalaman	1	0,20	6,30	-
		2	0,20	6,30	
		3	0,20	6,30	
X ₃	Kecepatan air	1	0,03	3,00	-
		2	0,11	3,08	
		3	0,11	3,08	
X ₄	Debit air	1	0,02	1087,54	-
		2	0,05	1087,56	
		3	0,10	1087,61	
X ₅	Fosfat	1	0,00	1,37	0,2 mg/l
		2	0,00	34,14	
		3	0,03	20,80	
X ₆	Nitrat	1	0,76	98,79	10 mg/l
		2	0,99	146,39	
		3	0,42	160,00	
X ₇	Ammonia	1	0,10	99,00	0,5 mg/l
		2	0,00	244,00	
		3	0,04	186,00	
X ₈	Nitrit	1	0,00	154,00	0,05 mg/l
		2	0,00	85,00	
		3	0,00	57,89	
X ₉	Suhu	1	28,00	29,00	27 ^o C
		2	28,00	28,00	
		3	28,00	28,00	
X ₁₀	Deterjen	1	91,46	189,00	200 mg/l

B. Analisis Mixed GWR Multivariate (MGWRM) Pada Pencemaran Kualitas Air Kali Surabaya Bulan Juli 2013

Tahapan awal dalam melakukan analisis pemodelan MGWRM adalah melakukan uji korelasi antara respon COD dan BOD, diketahui dari hasil uji korelasi terdapat hubungan antara COD dan BOD kemudian melakukan uji multikolinieritas. Hasil uji multikolinieritas disimpulkan bahwa variabel (X₁) hingga (X₁₀) tidak terjadi multikolinieritas sehingga layak digunakan dalam pemodelan. Setelah melakukan uji multikolinieritas, melakukan analisis pemodelan regresi multivariat. Hasil penaksiran parameter model regresi multivariat dengan tingkat signifikan ($\alpha = 5\%$) diketahui bahwa variabel yang berpengaruh terhadap pencemaran kualitas air COD kali Surabaya adalah kecepatan air sedangkan variabel yang berpengaruh terhadap pencemaran kualitas air BOD kali

Surabaya adalah kadar nitrit. Pada pemeriksaan asumsi regresi multivariate, residual telah berdistribusi multivariate normal akan tetapi matriks varians kovarians tidak homogen karena nilai *p-value statistic* uji Box'M 0.00 lebih kecil dari tingkat signifikan ($\alpha=5\%$). Hal ini menunjukkan bahwa pada kasus pencemaran kualitas air COD dan BOD kali Surabaya terjadi kasus heterogenitas spasial. Oleh karena itu, akan lebih baik jika digunakan model yang mempertimbangkan faktor lokasi pengamatan sebagai variabel dalam penelitian untuk menggambarkan pengaruh variabel prediktor terhadap variabel respon yaitu dengan model GWRM.

Hasil GWRM menunjukkan bahwa variabel prediktor $X_3, X_6, X_7, X_8, X_{10}$ berpengaruh pada seluruh lokasi kali (berpengaruh secara global) baik terhadap respon COD maupun BOD sedangkan X_1, X_2, X_4, X_5, X_9 berpengaruh hanya berpengaruh pada beberapa lokasi saja (berpengaruh secara lokal), variabel tersebut dibentuk model MGWRM untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi pencemaran kualitas air COD dan BOD kali Surabaya. Analisis model MGWRM menggunakan matlab 7.9.0 didapatkan nilai *bandwidth* optimum dari data sebesar 10,047. Pada penelitian ini digunakan fungsi jarak kernel *Gaussian* untuk penentuan pembobotnya. Setelah mencari penaksir parameter beta COD dan BOD dari MGWRM selanjutnya akan dilakukan pengujian hipotesis kesesuaian model MGWRM yang dilakukan dengan membandingkan antara model regresi multivariat dengan MGWRM dengan hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \beta_{kh}(u_i, v_i) = \beta_{kh}, \quad k = 0,1,2, \dots, 10 \text{ dan } h = 1,2$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \beta_{kh}(u_i, v_i) \neq \beta_{kh}$$

Berdasarkan hasil uji kesesuaian model MGWRM dengan model regresi multivariat, diperoleh nilai F_{hitung} sebesar 7,123, yang nilainya lebih besar dari $F_{tabel}(F_{(0,05;1,19)} = 4,389)$ sehingga model MGWRM layak untuk menggambarkan faktor-faktor yang mempengaruhi pencemaran kualitas air Kali Surabaya.

Berdasarkan hasil uji serentak pada MGWRM, diperoleh nilai F_{hitung} 3,5125 yang nilainya lebih besar dari $F_{tabel}(F_{hitung} > F_{(0,05;29,19)} = 2,07)$ sehingga parameter MGWRM secara serentak berpengaruh signifikan terhadap variabel respon pada tiap lokasi.

Pengujian signifikansi variabel global $X_3, X_6, X_7, X_8, X_{10}$ dilakukan dengan hipotesis sebagai berikut:

$$H_0 : \beta_{kh} = 0$$

$$H_1 : \beta_{kh} \neq 0, \quad k = 3,6,7,8,10 \text{ dan } h = 1,2$$

Tabel 2.
Penaksir Parameter Global Model MGWRM Juli 2013

Variabel respon	Variabel prediktor Global	Penaksir β	t_{hitung}	P-Value
Y ₁	X ₃	33,691	2,753*	0,012*
	X ₆	0,022	0,072	0,393
	X ₇	0,066	0,348	0,373
	X ₈	0,148	0,758	0,293
	X ₁₀	0,033	0,117	0,392
Y ₂	X ₃	-2,116	-2,091*	0,048*
	X ₆	-0,058	-2,355*	0,029*

X ₇	0,038	2,469*	0,023*
X ₈	0,047	2,952*	0,008*
X ₁₀	0,049	2,148*	0,043*

Ket : *)variabel signifikan pada $\alpha=5\%$

Berdasarkan Tabel 2, dapat disimpulkan bahwa pada respon COD, variabel prediktor global yang berpengaruh signifikan yaitu X_3 sedangkan untuk variabel respon BOD, variabel prediktor global yang berpengaruh X_3, X_6, X_7, X_8 dan X_{10} karena nilai $|t_{hitung}| > t_{(0,025,25)}=2,06$.

Pengujian signifikansi suatu variabel lokal $X_1, X_2, X_3, X_6, X_7, X_9$ dilakukan dengan hipotesis sebagai berikut:

$$H_0 : \beta_{kh}(u_i, v_i) = 0$$

$$H_1 : \beta_{kh}(u_i, v_i) \neq 0,$$

untuk $h = 1,2$ dan $k = 1,2,3,6,7,9$

Berdasarkan nilai Statistik uji t variabel respon COD dan BOD dengan tingkat signifikan ($\alpha=5\%$) jika nilai $|t_{hitung}| > t_{(0,025,24)}=2,064$ didapatkan variabel prediktor yang berpengaruh terhadap variabel respon di tiap lokasi pengamatan (bersifat lokal) di bulan Juli 2013. Pada variabel respon COD, tidak ada variabel prediktor lokal yang berpengaruh sehingga untuk kasus pencemaran kualitas COD hanya dipengaruhi oleh variabel prediktor global yaitu kecepatan air (X_3). sedangkan untuk kasus pencemaran kualitas air BOD, selain dipengaruhi oleh variabel prediktor global yaitu kecepatan air (X_3), nitrat (X_6), amonia (X_7), nitrit (X_8) dan deterjen (X_{10}) juga dipengaruhi oleh variabel prediktor lokalnya dengan variabel lokal yang berpengaruh adalah kedalaman (X_2) dan fosfat (X_5). Pengelompokan kali berdasarkan variabel yang berpengaruh pada BOD dapat ditunjukkan pada Tabel 3

Tabel 3.
Pengelompokan Kali Pada BOD Model MGWRM di Bulan Juli 2013

Variabel	lokasi kali	Variabel yang berpengaruh
BOD	Kali Surabaya di Kedurus, Kali Surabaya di jembatan Wonokromo, Kalimas di Jembatan Ngagel, Kalimas di jembatan Keputran Selatan, Kalimas di jembatan kebon rojo, Kali jeblok di Petojo, Kali Jeblok di Kedung cowek, Kali Pegirian di Jl Undaan, Kali Pegirian di Jl Pegirian, Kali Banyu Urip di Jembatan Balongsari Tama, Kali Greges di jembatan Jl dupak, Kalidami di jemabatan Kalidami, Kali bokor di jembatan pucang, kali wonorejo di jembatan kedung baruk, kali keping di Jl Sutorejo, Kali kebon agung di rungkut industry, kali wonokromo di jemabatan Merr II, saluran dinoyo di pompa air dinoyo, , saluran kenari di pompa air kenari,boezem kalidami, boezem morokrengangan, boezem kedurus, kali makmur di lidah kulon Jl Bangkingan, saluran margomulyo di Jl kalianak, Kali krengangan di jembatan Jl dumar Industri, Saluran Tambak wedi di pompa air tambak wedi, saluran tambak wedi di Jl Kenjeran makam WR. Supratman.	$X_3, X_6, X_7, X_8, X_{10}$

Saluran dinoyo di pompa air dinoyo, boezem wonorejo	X ₂ , X ₃ , X ₅ , X ₆ , X ₇ , X ₈ , X ₁₀
Saluran darmo di pompa air darmo, Kali Banyu urip di pompa air gunung sari	X ₃ , X ₅ , X ₆ , X ₇ , X ₈ , X ₁₀

Persamaan model untuk variabel respon COD pada lokasi ke-1 (Kali Kedurus) adalah

$$\hat{y}_{1(1)} = 1905,852 + 33,691X_3$$

Persamaan model untuk variabel respon BOD pada lokasi ke-1 (Kali Kedurus) adalah

$$\hat{y}_{2(1)} = -167,327 - 2,11603X_3 - 0,0584 X_6 + 0,03842 X_7 + 0,0475 X_8 + +0,0496 X_{10}$$

Pada lokasi ke-1 (Kali Kedurus) apabila terjadi kenaikan kadar nitrit (X₈) sebesar 1 mg/l maka pencemaran kualitas air BOD kali Surabaya akan meningkat sebesar 0,0475 mg/l dengan asumsi variabel prediktor lainnya tetap. Apabila terjadi kenaikan kecepatan air (X₃) sebesar 1 m/detik maka pencemaran kualitas air BOD kali Surabaya akan menurun sebesar 2,116 mg/l dengan asumsi variabel prediktor lainnya tetap. Apabila terjadi kenaikan kadar amonia (X₇) sebesar 1 mg/l maka pencemaran kualitas air BOD kali Surabaya akan meningkat sebesar 0,03482 mg/l dengan asumsi variabel prediktor lainnya tetap. Apabila terjadi kenaikan kadar deterjen (X₁₀) sebesar 1 mg/l maka pencemaran kualitas air BOD kali Surabaya akan meningkat sebesar 0,0496 mg/l dengan asumsi variabel prediktor lainnya tetap. Apabila terjadi kenaikan kadar nitrat (X₆) sebesar 1 mg/l maka pencemaran kualitas air BOD kali Surabaya akan meningkat sebesar 0,0584 mg/l dengan asumsi variabel prediktor lainnya tetap

Berikut ini adalah perbandingan nilai AIC model regresi multivariat, GWRM dan MGWRM, pada Tabel 4.

Tabel 4.

Nilai AIC Dari Model Regresi Multivariat, GWRM dan MGWRM

Statistic	Metode		
	Regresi	GWRM	MGWRM
AIC	3933.2	1525.3	391,9*

Ket : *) Pemilihan Model Terbaik

Tabel 4, menunjukkan bahwa nilai AIC model MGWRM lebih kecil dari model regresi multivariate dan GWRM, sehingga model MGWRM lebih tepat digunakan untuk memodelkan pencemaran kualitas air COD dan BOD di Kali Surabaya bulan Juli 2013 dibandingkan dengan model regresi multivariat dan GWRM.

C. Analisis Mixed GWR Multivariate (MGWRM) Pada Pencemaran Kualitas Air Kali Surabaya Bulan September 2013

Langkah dalam melakukan pemodelan MGWRM seperti pada Sub Bab B. Hasil Pemodelan MGWRM disimpulkan bahwa pada variabel respon COD, tidak ada variabel prediktor lokal yang berpengaruh sehingga untuk kasus pencemaran kualitas COD hanya dipengaruhi oleh variabel prediktor global yaitu kecepatan air (X₃)

sedangkan untuk kasus pencemaran kualitas air BOD, selain dipengaruhi oleh variabel prediktor globalnya yaitu kecepatan air (X₃) dan nitrit (X₈) juga dipengaruhi oleh variabel prediktor lokalnya dengan variabel lokal yang berpengaruh adalah deterjen (X₁₀). Pengelompokan kali berdasarkan variabel yang berpengaruh pada BOD dapat ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5.

Pengelompokan Kali Pada BOD Model MGWRM di Bulan September		
Variabel	lokasi kali	Variabel yang berpengaruh
BOD	Kali Surabaya di Kedurus, Kali Surabaya di jembatan Wonokromo, Kalimas di Jembatan Ngagel, Kalimas di jembatan Keputran Selatan, Kalimas di jembatan kebon rojo, Kali jeblokkan di Petojo, Kali Jeblokkan di Kedung cowek, Kali Pegirian di Jl Undaan, Kali Pegirian di Jl Pegirian, Kali Banyu Urip di Jembatan Balongsari Tama, Kali Greges di jembatan Jl dupak, Kalidami di jembatan Kalidami, Kali bokor di jembatan pucang, kali wonorejo di jembatan kedung baruk, kali kepinging di Jl Sutorejo, Kali kebon agung di rungkut industry, kali wonokromo di jemabatan Merr II, saluran dinoyo di pompa air dinoyo, boezem wonorejo,boezem morokrengangan, boezem kedurus, kali makmur di lidah kulon Jl Bangkingan, Kali banyu urip di pompa air Gunung sari, saluran margomulyo di Jl kalianak, Kali krengangan di jembatan Jl dumar Industri, Saluran Tambak wedi di pompa air tambak wedi	X ₃ , X ₈
	Saluran Darmo di pompa air Darmo, saluran kenari di pompa air kenari,boezem kalidami dan saluran tambak wedi di Jl Kenjeran makam WR. Supratman.	X ₃ , X ₈ X ₁₀

Persamaan model untuk variabel respon COD pada lokasi ke-1 (Kali Kedurus) adalah

$$\hat{y}_{1(1)} = 6,6994 + 25,561 X_3$$

Persamaan model untuk variabel respon BOD pada lokasi ke-1 (Kali Kedurus) adalah

$$\hat{y}_{2(1)} = 9,7037 + 0,5117 X_3 + 0,0277 X_8$$

D. Analisis Mixed GWR Multivariate (MGWRM) Pada Pencemaran Kualitas Air Kali Surabaya Bulan Nopember 2013

Langkah dalam melakukan pemodelan MGWRM seperti pada Sub Bab B. Hasil pemodelan MGWRM disimpulkan bahwa variabel prediktor yang berpengaruh pada variabel respon COD, tidak ada variabel prediktor lokal yang berpengaruh sehingga untuk kasus pencemaran kualitas COD hanya dipengaruhi oleh variabel prediktor global yaitu kecepatan air (X₃) sedangkan untuk kasus pencemaran kualitas air BOD, selain dipengaruhi oleh variabel prediktor globalnya yaitu kecepatan air (X₃) dan nitrit (X₈) juga dipengaruhi oleh variabel prediktor lokalnya, dengan variabel lokal yang berpengaruh adalah amonia (X₇) sehingga pada kasus pencemaran air kali Surabaya pada bulan Nopember 2013 dipengaruhi oleh

limbah industri, yang diidentifikasi dari kadar ammonia dan nitrit. Berdasarkan variabel yang berpengaruh pada BOD terdapat 2 pengelompokan kali. Kelompok ke-1, faktor yang mempengaruhi pencemaran adalah kecepatan air (X_3) dan nitrit (X_8) kemudian kelompok ke-2, faktor yang mempengaruhi pencemaran adalah kecepatan air (X_3), amonia (X_7) dan nitrit (X_8). Persamaan model untuk variabel respon COD pada lokasi ke-1 (Kali Kedurus) adalah

$$\hat{y}_{1(1)} = -12,238 + 25,561 X_3$$

Persamaan model untuk variabel respon BOD pada lokasi ke-1 (Kali Kedurus) adalah

$$\hat{y}_{2(1)} = 9,7037 + 0,709 X_3 + 0,038 X_7 + 0,0071 X_8$$

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, dapat diambil kesimpulan adalah sebagai berikut.

1. Pada bulan Juli 2013, faktor global yang mempengaruhi pencemaran kualitas air COD yaitu kecepatan air (X_3) sedangkan untuk respon BOD yaitu kecepatan air (X_3), nitrat (X_6), amonia (X_7), nitrit (X_8) dan deterjen (X_{10}). Faktor lokal yang mempengaruhi pencemaran kualitas air COD tidak ada sedangkan untuk respon BOD adalah kedalaman (X_2) dan fosfat (X_5). Pada repon COD terbentuk 1 kelompok dengan dipengaruhi oleh faktor global yaitu kecepatan sedangkan untuk respon BOD terbentuk 3 kelompok dengan dipengaruhi faktor global (kecepatan air, nitrat, amonia, nitrit, deterjen) dan lokal (kedalaman dan fosfat). Persamaan model untuk COD dan BOD di lokasi ke-1 (Kali Kedurus) adalah

$$\hat{y}_{1(1)} = 1905,852 + 33,691 X_3$$

$$\hat{y}_{2(1)} = -167,327 - 2,11603 X_3 - 0,0584 X_6 + 0,03842 X_7 + 0,0475 X_8 + 0,0496 X_{10}$$

2. Pada bulan September 2013, faktor global yang mempengaruhi pencemaran kualitas air COD yaitu kecepatan air (X_3) sedangkan untuk respon BOD yaitu kecepatan air (X_3) dan nitrit (X_8). Faktor lokal yang mempengaruhi pencemaran kualitas air COD tidak ada sedangkan untuk respon BOD adalah deterjen (X_{10}). Pada repon COD terbentuk 1 kelompok dengan dipengaruhi oleh faktor global yaitu kecepatan sedangkan untuk respon BOD terbentuk 2 kelompok dengan dipengaruhi faktor global (kecepatan air, nitrat) dan lokal (deterjen). Model untuk COD dan BOD di lokasi ke-1 (Kali Kedurus) adalah

$$\hat{y}_{1(1)} = 6,6994 + 25,561 X_3$$

$$\hat{y}_{2(1)} = 9,7037 + 0,5117 X_3 + 0,0277 X_8$$

3. Pada bulan Nopember 2013, faktor global yang mempengaruhi pencemaran kualitas air COD yaitu kecepatan air (X_3) sedangkan untuk respon BOD yaitu kecepatan air (X_3) dan nitrit (X_8). Faktor lokal yang mempengaruhi pencemaran kualitas air tidak ada

sedangkan untuk respon BOD adalah amonia (X_8). Pada repon COD terbentuk 1 kelompok dengan dipengaruhi oleh faktor global yaitu kecepatan sedangkan untuk respon BOD terbentuk 2 kelompok dengan dipengaruhi faktor global (kecepatan air, nitrat) dan lokal (amonia). Model untuk COD dan BOD di lokasi ke-1 (Kali Kedurus) adalah

$$\hat{y}_{1(1)} = -12,238 + 13,6891 X_3$$

$$\hat{y}_{2(1)} = 9,7037 + 0,709 X_3 + 0,038 X_7 + 0,0071 X_8$$

Saran yang diberikan pada penelitian selanjutnya adalah menambahkan variabel yang lebih mampu menggambarkan kondisi kali Surabaya yang sebenarnya misalnya jumlah saluran yang dialirkan ke kali, jumlah rumah yang tidak ramah lingkungan, penggolongan wilayah, jumlah bangunan illegal disekitar sungai kemudian menggunakan pembobot fungsi jarak kernel yang lain (Exponensial, Bisquare dan Tricube) dan mencoba menggunakan fungsi kernel adaptive yang memiliki *bandwidth* yang berbeda pada masing-masing lokasi pengamatan serta menambah jumlah lokasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DIKTI) yang telah memberikan dukungan finansial melalui Program Kreativitas Mahasiswa Penelitian (PKMP) tahun 2013-2014 dan BAKESBANGPOLINMAS Surabaya yang telah mengizinkan untuk pengambilan data ke BLH serta pihak yang terkait lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Koesnariyanto, R. 2012. *Pemodelan Indikator Pencemaran Air Secara Kimia (BOD) Dengan Geographically Weighted Regression*. Surabaya: Program Magister Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga.
- [2] Yasin, H. 2011. *Model Mixed Geographically Weighted Regression, Studi Kasus : Persentase Rumah Tangga Miskin di Kabupaten Mojokerto Tahun 2008*. Program Magister Jurusan Statistika FMIPA-ITS.
- [3] Lumaela, A.K. 2013. *Pemodelan Chemical Oxygen Demand (COD) Sungai di Surabaya Dengan Metode Mixed Geographically Weighted Regression*. Surabaya: Program Sarjana Jurusan Statistika-FMIPA ITS.
- [4] Hayati, Memi Noor. 2013. *Mixed Geographically Weighted Multivariate linier Model*. Surabaya: Program Magister Jurusan Statistika-FMIPA ITS.
- [5] Harini, S. 2012. *Regresi Spasial Multivariat Dengan Pembobot Geografis*. Surabaya: Program Doktor Jurusan Statistika-FMIPA ITS.