

PEMODELAN SEBARAN *TOTAL DISSOLVED SOLID* MENGUNAKAN METODE *MIXED GEOGRAPHICALLY WEIGHTED REGRESSION*

Dadan Kusnandar¹, Naomi Nesyana Debatara², Siti Fitriani³

^{1,2,3} Program Studi Statistika, FMIPA Universitas Tanjungpura, Pontianak
e-mail: ¹dkusnand@untan.ac.id

Abstrak

Model *mixed geographically weighted regression* (*Mixed GWR*) merupakan teknik mengeksplorasi ketidakstasioneran spasial dengan mempertimbangkan pengaruh lokal dan global secara bersamaan. Dalam penelitian ini, *Mixed GWR* digunakan untuk menentukan model sebaran *Total Dissolved Solid* (TDS) pada kualitas air di Kota Pontianak. Variabel independen yang digunakan yaitu *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biological Oxygen Demand* (BOD), pH, kesadahan dan warna. Hasil penelitian menunjukkan model *Mixed GWR* dengan pembobot *Fixed Bisquare Kernel* lebih baik dibandingkan model regresi global dan *GWR* dengan AIC sebesar 326,48 dan MAPE 22,34%, dan variabel yang berpengaruh secara global yaitu kesadahan dan warna, sedangkan lokal yaitu COD, BOD dan pH.

Kata kunci: pencemaran air, regresi spasial, regresi global.

Abstract

Mixed geographically weighted regression (*Mixed GWR*) is a technique to explore spatial non-stationarity by considering local and global influences simultaneously. In this study, the *Mixed GWR* model was used to determine the *Total Dissolved Solid* (TDS) distribution model on water quality in Pontianak's. Independent variables used are *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biological Oxygen Demand* (BOD), pH, water hardness and color. The results showed that the *Mixed GWR* model with *Fixed Bisquare Kernel* weighting was better than the global regression model and *GWR* because it had the smallest AIC value of 326.48 and MAPE value of 22.34%. Variables that affect globally are hardness and color, while variables that affect locally are COD, BOD and pH.

Keywords: water pollutions, spatial regression, global regression

PENDAHULUAN

Analisis regresi digunakan untuk membangun suatu model matematis untuk menjelaskan hubungan antara dua variabel atau lebih (Kusnandar, Debatara, Mara, Satyahadewi, 2019). Metode yang umum digunakan untuk menduga parameter model regresi adalah metode *ordinary least square* (OLS). Koefisien regresi pada umumnya dianggap berlaku global untuk seluruh unit pengamatan. Pada kenyataannya, terkadang kondisi antara lokasi pengamatan satu dengan yang lainnya berbeda. Kondisi yang dipengaruhi oleh aspek spasial atau kondisi geografis suatu wilayah penelitian memungkinkan adanya heterogenitas spasial. Heterogenitas spasial merupakan keadaan dimana variabel independen memberikan respon tidak sama pada lokasi yang berbeda dalam satu wilayah penelitian (Tizona, Goejantoro, Wasono, 2017). Data spasial merupakan data yang memuat informasi mengenai letak geografis suatu daerah dan diperoleh dari hasil pengukuran (Fotheringham, Brunson, Charlton, 2002). Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah heterogenitas spasial adalah dengan memanfaatkan model *geographically weighted regression* (GWR).

GWR merupakan perluasan dari model regresi. Setiap parameter diduga pada setiap titik sehingga nilai parameter pada GWR berbeda-beda. Suatu pemodelan yang menggabungkan model regresi global dengan model GWR disebut *mixed geographically weighted regression* (*Mixed GWR*) (Fotheringham, dkk, 2002). Seperti halnya pada model GWR, Pendugaan parameter pada model *Mixed GWR* juga dapat dilakukan dengan menggunakan metode *weighted least square* (WLS). Penelitian dengan menggunakan metode *Mixed GWR* telah dilakukan oleh Yasin (2013) yang menggunakan metode *resampling bootstrap* untuk menguji hipotesis model *Mixed GWR*.

Beberapa pemodelan kualitas air di Kota Pontianak sudah dilakukan oleh Fikri, Debatara, Kusnandar (2019) dan Kusnandar, Debatara, Dewi (2019).

Penelitian-penelitian tersebut bertujuan untuk menentukan sebaran spasial kualitas air dengan menggunakan analisis diskriminan. Penelitian lain dilakukan oleh Debatara, Kusnandar, Imro'ah, Rachmadiar (2019) yang menerapkan metode cokriging untuk menduga jumlah zat padat terlarut pada air di Kota Pontianak. Oleh karena itu, metode *Mixed GWR* juga diaplikasikan dalam penelitian ini untuk memodelkan sebaran *Total Dissolved Solid* (TDS) pada 42 lokasi di Kota Pontianak. TDS merupakan salah satu indikator pencemaran air secara fisik yang menunjukkan kandungan padatan terlarut air yang termasuk didalamnya senyawa-senyawa organik dan anorganik.

METODOLOGI

Regresi Linier

Metode regresi linier merupakan metode yang memodelkan hubungan antara variabel dependen dan variabel independen. Model umum regresi linier dapat ditulis sebagai berikut (Chasco, Gracia, Vicens, 2007):

$$y_i = \beta_0 + \sum_{k=1}^p \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i$$

dimana y_i adalah nilai pengamatan variabel dependen ke- i dengan $i = 1, 2, \dots, n$; x_{ik} adalah nilai pengamatan variabel independen ke- k pada pengamatan ke- i dengan $k = 1, 2, \dots, p$; β_0 adalah konstanta atau intersep model regresi; β_k adalah parameter regresi variabel independen ke- k dan ε_i adalah error pada pengamatan ke- i . Metode yang digunakan untuk menduga parameter model regresi adalah dengan meminimumkan jumlah kuadrat error atau sering disebut dengan OLS yaitu (Kusnandar, dkk, 2019):

$$\hat{\beta} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{Y}$$

Geographically Weighted Regression

GWR merupakan pengembangan dari model regresi dimana pendugaan parameter dihitung pada setiap lokasi pengamatan,

sehingga mempunyai nilai parameter regresi yang berbeda-beda atau bersifat lokal. Model GWR dapat ditulis sebagai berikut (Fotheringham, dkk, 2002):

$$y_i = \beta_0(r_i, s_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(r_i, s_i)x_{ik} + \varepsilon_i$$

dimana y_i adalah nilai pengamatan variabel dependen ke- i dengan $i = 1, 2, \dots, n$; x_{ik} adalah nilai pengamatan variabel independen ke- k pada pengamatan ke- i ; $\beta_0(r_i, s_i)$ adalah konstanta atau intersep model GWR; $\beta_k(r_i, s_i)$ adalah parameter regresi variabel independen ke- k pada lokasi pengamatan ke- i ; (r_i, s_i) adalah titik koordinat lokasi i dan ε_i adalah eror pada pengamatan ke- i .

Pendugaan parameter model GWR menggunakan WLS yaitu dengan memberikan pembobot yang berbeda untuk setiap lokasi pengamatan. Penduga parameter model untuk setiap lokasinya adalah (Fotheringham, dkk, 2002):

$$\hat{\beta}(r_i, s_i) = (\mathbf{X}^T \mathbf{W}(r_i, s_i) \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(r_i, s_i) \mathbf{Y}$$

dimana \mathbf{X} adalah matriks variabel independen $n \times (p+1)$; \mathbf{Y} adalah matriks variabel dependen berukuran $n \times 1$; $\hat{\beta}(r_i, s_i)$ adalah vektor penduga parameter GWR dan $\mathbf{W}(r_i, s_i)$ adalah matriks diagonal berukuran $n \times n$ yang merupakan matriks pembobot spasial lokasi ke- i .

Pemilihan Pembobot

Pembobot pada model GWR sangat penting karena fungsi pembobot memberikan hasil pendugaan parameter yang berbeda untuk setiap lokasi. Besarnya pembobotan untuk setiap lokasi yang berbeda dapat ditentukan salah satunya dengan menggunakan fungsi *Kernel*. Pendugaan parameter untuk pembobotan yang digunakan dalam model GWR adalah menggunakan fungsi *Kernel*. Pembobot yang terbentuk dari fungsi *Kernel* terdiri dari (Apriyani, Yuniarti dan Hayati, 2018):

1. Fixed Gaussian Kernel

$$w_{ij}(r_i, s_i) = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{d_{ij}}{b}\right)^2\right)$$

2. Fixed Bisquare Kernel

$$w_{ij}(r_i, s_i) = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{d_{ij}}{b}\right)^2\right)^2, & \text{untuk } d_{ij} \leq b \\ 0, & \text{untuk } d_{ij} > b \end{cases} \text{ Fixed}$$

3. Tricube Kernel

$$w_{ij}(r_i, s_i) = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{d_{ij}}{b}\right)^3\right)^3, & \text{untuk } d_{ij} \leq b \\ 0, & \text{untuk } d_{ij} > b \end{cases}$$

dengan b adalah *bandwidth* yang sama digunakan untuk setiap lokasi dan d_{ij} adalah jarak antara titik di lokasi i dan lokasi j yang didapatkan dari jarak *Euclidean* $(d_{ij})^2 = (r_i - r_j)^2 + (s_i - s_j)^2$.

Dalam penelitian ini, pemilihan *bandwith* optimum dilakukan dengan metode *cross validation* sebagai berikut (Fotheringham, dkk, 2002):

$$CV = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{\neq i}(b))^2$$

dengan $\hat{y}_{\neq i}(b)$ adalah nilai pendugaan y_i dimana pengamatan lokasi (r_i, s_i) dihilangkan dari proses pendugaan dan n adalah jumlah sampel.

Mixed Geographically Weighted Regression (Mixed GWR)

Model *Mixed GWR* merupakan gabungan dari model regresi global dengan model GWR (Yasin, 2013). Pada model *Mixed GWR* akan dihasilkan penduga parameter yang sebagian bersifat global dan sebagian yang lain bersifat lokal sesuai dengan lokasi pengamatan (Fotheringham, dkk, 2002). Model *Mixed GWR* dengan p variabel independen dan q variabel independen yang diantaranya bersifat lokal dengan mengasumsikan bahwa intersep model bersifat lokal. Model *Mixed GWR* dapat dituliskan sebagai berikut (Yasin, 2013):

$$y_i = \beta_0(r_i, s_i) + \sum_{k=1}^q \beta_k(r_i, s_i) x_{ik} + \sum_{k=q+1}^p \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i$$

dengan $i=1,2,\dots,n$; y_i adalah nilai pengamatan variabel dependen ke- i ; x_{ik} adalah nilai pengamatan variabel independen ke- k pada pengamatan ke- i ; $\beta_0(r_i, s_i)$ adalah nilai intersep model regresi; β_k adalah koefisien regresi variabel independen ke- k ; (r_i, s_i) adalah titik koordinat (lintang, bujur) lokasi i dan ε_i adalah eror ke- i . Pendugaan parameter model *Mixed GWR* dapat ditulis sebagai berikut (Yasin, 2013):

$$\hat{\beta}_g = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_g^T (\mathbf{I} - \mathbf{S}_l)^T (\mathbf{I} - \mathbf{S}_l) \mathbf{X}_g \\ \mathbf{X}_g^T (\mathbf{I} - \mathbf{S}_l)^T (\mathbf{I} - \mathbf{S}_l) \mathbf{y} \end{bmatrix}^{-1} \quad (1)$$

dan

$$\hat{\beta}_l(r_i, s_i) = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_l^T \mathbf{W}(r_i, s_i) \mathbf{X}_l \\ \mathbf{X}_l^T \mathbf{W}(r_i, s_i) (\mathbf{y} - \mathbf{X}_g \hat{\beta}_g) \end{bmatrix}^{-1} \quad (2)$$

dan bentuk dari matriks \mathbf{S}_l yang berukuran $n \times n$ yaitu sebagai berikut:

$$\mathbf{S}_l = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_{l1}^T \left[\mathbf{X}_{l1}^T \mathbf{W}(r_1, s_1) \mathbf{X}_{l1} \right]^{-1} \mathbf{X}_{l1}^T \mathbf{W}(r_1, s_1) \\ \mathbf{X}_{l2}^T \left[\mathbf{X}_{l2}^T \mathbf{W}(r_2, s_2) \mathbf{X}_{l2} \right]^{-1} \mathbf{X}_{l2}^T \mathbf{W}(r_2, s_2) \\ \vdots \\ \mathbf{X}_{ln}^T \left[\mathbf{X}_{ln}^T \mathbf{W}(r_n, s_n) \mathbf{X}_{ln} \right]^{-1} \mathbf{X}_{ln}^T \mathbf{W}(r_n, s_n) \end{bmatrix}$$

Pemilihan Model Terbaik

Ada beberapa metode yang digunakan untuk memilih model yang sesuai, salah satunya adalah *akaike information criterion* (AIC) yang didefinisikan (Ispriyanti, Yasin, Warsito, Hoyyi dan Winarso, 2017):

$$AIC_c = 2n \ln(\hat{\sigma}) + n \ln(2\pi) + n \left\{ \frac{n + \text{tr}(\mathbf{S})}{n - 2 - \text{tr}(\mathbf{S})} \right\}$$

dengan $\hat{\sigma}$ adalah nilai penduga standar deviasi dari eror hasil pendugaan

maksimum *likelihood*, yaitu $\hat{\sigma} = \frac{SSE}{n}$ dan

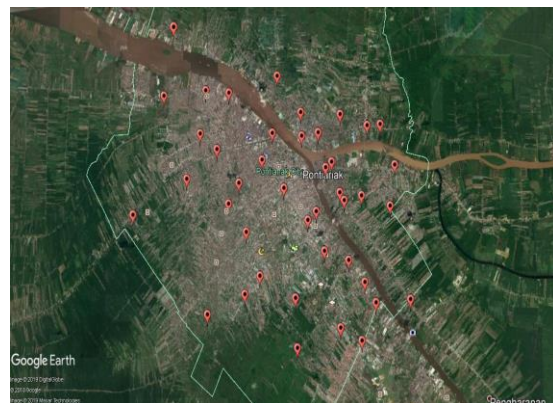
\mathbf{S} adalah matriks proyeksi dimana $\hat{y} = \mathbf{S}y$. Pemilihan model terbaik dilakukan dengan memilih nilai AIC terkecil (Fotheringham, dkk, 2002). Berikut merupakan bentuk dari matriks \mathbf{S} :

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_1^T \left[\mathbf{X}_1^T \mathbf{W}(r_1, s_1) \mathbf{X}_1 \right]^{-1} \mathbf{X}_1^T \mathbf{W}(r_1, s_1) \\ \mathbf{X}_2^T \left[\mathbf{X}_2^T \mathbf{W}(r_2, s_2) \mathbf{X}_2 \right]^{-1} \mathbf{X}_2^T \mathbf{W}(r_2, s_2) \\ \vdots \\ \mathbf{X}_n^T \left[\mathbf{X}_n^T \mathbf{W}(r_n, s_n) \mathbf{X}_n \right]^{-1} \mathbf{X}_n^T \mathbf{W}(r_n, s_n) \end{bmatrix}$$

dengan \mathbf{S} berukuran $n \times n$ dan $\mathbf{W}(r_i, s_i)$ merupakan matriks berukuran $n \times n$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Data



Gambar 1. Peta Titik Lokasi Sampel

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sampel air yang diambil pada 42 lokasi di Kota Pontianak. Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan metode *stratified random sampling*. Selanjutnya sampel-sampel air tersebut dilakukan analisis di laboratorium. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Total Dissolved Solid* (TDS) sebagai variabel dependen (Y) dan variabel independen adalah *Chemical Oxygen Demands* (COD) (X_1), *Biological Oxygen Demands* (BOD) (X_2), pH (X_3), kesadahan (X_4) dan warna (X_5). Titik-titik

lokasi pengambilan sampel air disajikan pada Gambar 1 (Debataraja, dkk, 2019)

Nilai-nilai statistik sampel untuk setiap variabel disajikan dalam Tabel 1. Nilai koefisien keragaman dalam Tabel 1 menunjukkan bahwa data dalam setiap variabel mempunyai keragaman yang relatif besar. Kecuali variabel pH, setiap variabel mempunyai nilai koefisien keragaman di atas 30%. Keragaman yang besar ini juga ditunjukkan oleh nilai kisaran, selisih antara nilai maksimum dan nilai minimum, yang besar.

Pendugaan Model Regresi Global

Pendugaan parameter dalam model regresi global dilakukan dengan menggunakan metode OLS. Persamaan model regresi global yang terbentuk adalah:

$$\hat{y} = 22,33 - 0,19x_1 + 0,53x_2 + 4,94x_3 + 1,02x_4 - 0,04x_5 \quad (3)$$

Nilai *Adjusted R-Square* bagi persamaan tersebut adalah sebesar 79,47% yang berarti bahwa model regresi linier mampu menjelaskan variabel dependen sebesar 79,47% sedangkan 20,53% sisanya dijelaskan oleh variabel lain di luar model.

Tabel 1. Statistik Deskriptif

| Variabel | Min | Maks | Rata-rata | Simp. Baku |
|-------------------------|-------|--------|-----------|------------|
| TDS (mg/l) | 17,20 | 156,30 | 74,10 | 37,85 |
| COD (mg/l) | 31,05 | 126,86 | 81,00 | 30,91 |
| BOD (mg/l) | 7,62 | 50,50 | 18,60 | 8,65 |
| pH | 3,88 | 7,94 | 6,90 | 1,05 |
| Kesadahan (mg/l) | 8 | 68 | 38,80 | 13,37 |
| Warna (pt.co) | 22 | 990 | 365,40 | 329,55 |

Pengujian signifikansi parameter secara parsial dalam regresi global dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil analisis yang tertera pada Tabel 2 dapat diketahui bahwa variabel yang signifikan adalah kesadahan dan warna. Hal ini ditunjukkan dengan nilai *p-value* kecil untuk kedua variabel tersebut (lebih kecil dari $\alpha = 5\%$).

Pengujian asumsi residual dari model regresi global dilakukan untuk menguji

Tabel 2. Uji Signifikansi Parameter Secara Parsial

| Kode | Variabel | t_{hitung} | $p-value$ |
|-------|-----------|--------------|--------------------|
| X_1 | COD | -1,11 | 0,27 |
| X_2 | BOD | 1,44 | 0,16 |
| X_3 | Ph | 1,18 | 0,25 |
| X_4 | Kesadahan | 3,81 | $5 \cdot 10^{-4}$ |
| X_5 | Warna | -2,46 | $19 \cdot 10^{-3}$ |

apakah terdapat pelanggaran terhadap asumsi klasik. Tabel 3 menyajikan hasil uji baik untuk uji multikolinearitas, heterokedastisitas, autokorelasi dan normalitas. Dari Tabel 3, dapat dilihat bahwa semua nilai VIF dari masing-masing variabel (COD, BOD, pH dan kesadahan) kurang dari 10. Hal ini dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi multikolinearitas.

Tabel 3 juga menyajikan nilai $BP_{hitung} = 6,70$. Nilai ini kurang dari $\chi^2_{tabel} = 11,07$. Hal ini menunjukkan tidak terjadi heterokedastisitas. Nilai Durbin Watson = 1,90 yang terletak diantara dL (1,254) dan 4-dU (1,7814) sehingga dapat disimpulkan tidak adanya autokorelasi. Dengan menggunakan $\alpha = 5\%$, nilai *p-value* yang diperoleh sebesar 0,8 sehingga dapat disimpulkan bahwa eror berdistribusi normal.

Tabel 3. Pengujian Asumsi Klasik

| Variabel | Nilai VIF |
|------------------|-----------|
| COD | 3,81 |
| BOD | 1,39 |
| Ph | 2,70 |
| Kesadahan | 1,79 |

$BP_{hitung} = 6,70$
 $DW = 1,90$
 $p-value = 0,89$

Dalam model GWR, fungsi pembobot yang digunakan yaitu *Fixed Gaussian Kernel*, *Fixed Bisquare Kernel* dan *Fixed Tricube Kernel*. Hasil perbandingan dari ketiga fungsi *Kernel* disajikan pada Tabel 3.

Hasil analisis yang disajikan pada Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai CV minimum terdapat pada fungsi pembobot *Fixed Bisquare Kernel*. Hal ini berarti bahwa fungsi pembobot *Fixed Bisquare*

Tabel 4. Cross Validation dan Bandwidth Pada Fungsi Pembobot

| Fungsi Pembobot | CV minimum | Bandwidth |
|------------------------------|------------|-----------|
| <i>Fixed Gaussian Kernel</i> | 12810,11 | 0,036 |
| <i>Fixed Bisquare Kernel</i> | 12685,25 | 0,091 |
| <i>Fixed Tricube Kernel</i> | 12812,73 | 0,094 |

Kernel yang digunakan untuk menentukan pembobotan pada model GWR.

Setelah mendapatkan *bandwidth* optimum, langkah selanjutnya adalah menentukan matriks pembobot pada masing-masing lokasi ke- i $W(r_i, s_i)$ dengan menghitung jarak *Euclidean* (r_i, s_i) terlebih dahulu pada setiap lokasi pengamatan. Matriks pembobot digunakan untuk mencari penduga param Neter model GWR dengan memasukkan nilai pembobot kedalam perhitungannya. Setiap nilai diduga pada titik pengamatan, sehingga setiap titik pengamatan mempunyai nilai parameter yang berbeda-beda.

Berdasarkan pendugaan parameter pada regresi global dengan menggunakan metode OLS dapat diperoleh parameter yang berpengaruh secara global ($\hat{\beta}_g$) yaitu parameter yang signifikan. Selain parameter global ($\hat{\beta}_g$), parameter yang tidak signifikan diduga memiliki pengaruh secara lokal $\hat{\beta}_l(r_i, s_i)$. Oleh karena itu, parameter yang memiliki pengaruh global dan lokal selanjutnya dapat dibentuk model *Mixed GWR*. Variabel yang berpengaruh secara global yaitu kesadahan (X_4) dan warna (X_5), sedangkan variabel yang berpengaruh secara lokal yaitu COD (X_1), BOD (X_2) dan pH (X_3).

Nilai pendugaan parameter $\hat{\beta}_g$ pada model *Mixed GWR* didapatkan dari perhitungan menggunakan OLS yaitu terdapat pada Persamaan 1. Kemudian, untuk menghitung nilai pendugaan $\hat{\beta}_l(r_i, s_i)$ lokal pada model *Mixed GWR* dihitung

berdasarkan Persamaan 2 dengan menggunakan pendugaan WLS.

Pengolahan *Mixed GWR* dilakukan menggunakan *Software R*. Pembobot yang digunakan dalam pemodelan *Mixed GWR* sama seperti model GWR yaitu menggunakan *Fixed Bisquare Kernel*.

Pemilihan Model Terbaik

Setelah menduga parameter model *Mixed GWR*, selanjutnya mencari nilai \hat{y} yang dibandingkan dengan y aktualnya. Kemudian perbandingan antara model regresi global, GWR dan *Mixed GWR* dengan menggunakan pembobot *Fixed Bisquare Kernel* dilakukan dengan menggunakan *mean absolute percentage error* (MAPE) dan AIC. Hasil perbandingan kesesuaian model disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Kesesuaian Model

| Model | MAPE | AIC |
|-------------------------|--------|--------|
| Regresi Global | 26,44% | 365,46 |
| GWR | 22,52% | 346,45 |
| <i>Mixed GWR</i> | 22,34% | 326,48 |

Hasil analisis yang tertera pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa nilai MAPE terkecil terdapat pada model *Mixed GWR* yang berarti bahwa model *Mixed GWR* memiliki kriteria cukup baik dan nilai AIC untuk melihat model terbaik terdapat pada model *Mixed GWR*. Hasil estimasi parameter *Mixed GWR* untuk 42 lokasi disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Estimasi Parameter Model *Mixed GWR*

| Lokasi | Model <i>Mixed GWR</i> |
|--------|--|
| 1 | $\hat{y}_1 = -31,78 - 0,18x_1 + 1,06x_2 + 8,56x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 2 | $\hat{y}_2 = -16,57 - 0,20x_1 + 0,93x_2 + 7,09x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 3 | $\hat{y}_3 = -34,11 - 0,17x_1 + 1,09x_2 + 8,74x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 4 | $\hat{y}_4 = -27,06 - 0,18x_1 + 1,00x_2 + 8,13x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 5 | $\hat{y}_5 = -7,99 - 0,21x_1 + 0,87x_2 + 6,18x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |

| | |
|----|---|
| 6 | $\hat{y}_6 = -0,84 - 0,22x_1 + 0,82x_2 + 5,21x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 7 | $\hat{y}_7 = -4,36 - 0,22x_1 + 0,81x_2 + 4,81x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 8 | $\hat{y}_8 = -14,66 - 0,20x_1 + 0,91x_2 + 6,89x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 9 | $\hat{y}_9 = -13,12 - 0,20x_1 + 0,91x_2 + 6,72x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 10 | $\hat{y}_{10} = -10,34 - 0,21x_1 + 0,89x_2 + 6,43x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 11 | $\hat{y}_{11} = 45,57 - 0,18x_1 + 0,52x_2 - 0,18x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 12 | $\hat{y}_{12} = 17,29 - 0,23x_1 + 0,74x_2 + 3,34x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 13 | $\hat{y}_{13} = 28,82 - 0,23x_1 + 0,69x_2 + 1,98x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 14 | $\hat{y}_{14} = -5,46 - 0,21x_1 + 0,86x_2 + 5,90x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 15 | $\hat{y}_{15} = 11,30 - 0,23x_1 + 0,77x_2 + 4,03x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 16 | $\hat{y}_{16} = 21,00 - 0,23x_1 + 0,72x_2 + 2,90x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 17 | $\hat{y}_{17} = 37,07 - 0,22x_1 + 0,63x_2 + 0,96x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 18 | $\hat{y}_{18} = 27,60 - 0,23x_1 + 0,69x_2 + 2,12x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 19 | $\hat{y}_{19} = 40,82 - 0,21x_1 + 0,60x_2 + 0,48x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 20 | $\hat{y}_{20} = 43,60 - 0,17x_1 + 0,51x_2 - 0,19x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 21 | $\hat{y}_{21} = 26,05 - 0,23x_1 + 0,69x_2 + 2,31x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 22 | $\hat{y}_{22} = 15,55 - 0,23x_1 + 0,75x_2 + 3,54x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 23 | $\hat{y}_{23} = 18,52 - 0,23x_1 + 0,73x_2 + 3,20x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 24 | $\hat{y}_{24} = 45,59 - 0,18x_1 + 0,52x_2 - 0,18x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 25 | $\hat{y}_{25} = 44,73 - 0,15x_1 + 0,47x_2 - 0,12x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 26 | $\hat{y}_{26} = 44,36 - 0,19x_1 + 0,56x_2 + 0,01x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 27 | $\hat{y}_{27} = 44,59 - 0,12x_1 + 0,36x_2 + 0,17x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 28 | $\hat{y}_{28} = 40,96 - 0,21x_1 + 0,60x_2 + 0,47x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |

| | |
|----|---|
| 29 | $\hat{y}_{29} = 44,10 - 0,20x_1 + 0,56x_2 + 0,05x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 30 | $\hat{y}_{30} = 42,56 - 0,20x_1 + 0,58x_2 + 0,26x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 31 | $\hat{y}_{31} = 42,34 - 0,21x_1 + 0,58x_2 + 0,29x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 32 | $\hat{y}_{32} = 33,78 - 0,22x_1 + 0,65x_2 + 0,37x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 33 | $\hat{y}_{33} = 32,20 - 0,23x_1 + 0,66x_2 + 1,57x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 34 | $\hat{y}_{34} = 24,68 - 0,23x_1 + 0,70x_2 + 2,47x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 35 | $\hat{y}_{35} = 22,19 - 0,23x_1 + 0,71x_2 + 2,77x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 36 | $\hat{y}_{36} = 23,71 - 0,23x_1 + 0,71x_2 + 2,59x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 37 | $\hat{y}_{37} = 32,96 - 0,22x_1 + 0,65x_2 + 1,47x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 38 | $\hat{y}_{38} = 20,39 - 0,23x_1 + 0,72x_2 + 2,98x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 39 | $\hat{y}_{39} = -15,13 - 0,20x_1 + 0,92x_2 + 6,94x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 40 | $\hat{y}_{40} = 40,69 - 0,21x_1 + 0,60x_2 + 0,50x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 41 | $\hat{y}_{41} = -21,69 - 0,19x_1 + 0,96x_2 + 7,61x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |
| 42 | $\hat{y}_{42} = 34,31 - 0,22x_1 + 0,65x_2 + 1,31x_3 + 1,30x_4 - 0,04x_5$ |

Hasil analisis dengan model *Mixed* GWR menunjukkan bahwa terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi TDS di Kota Pontianak yang memiliki pengaruh secara global pada seluruh lokasi pengamatan di Kota Pontianak dan berpengaruh secara lokal pada setiap lokasi pengamatan di Kota Pontianak. Variabel yang berpengaruh secara global yaitu kesadahan dan warna, sedangkan variabel yang berpengaruh secara lokal yaitu COD, BOD dan pH.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa model *Mixed* GWR lebih baik dibandingkan dengan regresi global dan GWR dalam memodelkan sebaran TDS di Kota Pontianak.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriyani, N.F., Yuniarti, D., dan Hayati, M. N. Pemodelan Mixed Geographically Weighted Regression (Studi Kasus: Jumlah Penderita Diare di Provinsi Kalimantan Timur Tahun 2015). *Jurnal Eksponensial*. 2018. **9**(1). ISSN: 2085-7829.
- Chasco, C., Gracia, I., dan Vicens, J. Modeling Spatial Variations in Household Disposable Income with Geographically Weighted Regression. *Munich Personal RePEc Achive Paper*. 2007 (1682).
- Debataraja, N. N., Kusnandar, D., Imro'ah, N., dan Rachmadiar, M. Penerapan Metode Cokriging untuk Mengestimasi Jumlah Zat Padat Terlarut Pada Air di Permukiman Kota Pontianak. *Jurnal Matematika, Sains dan Teknologi*. 2019. **20**(2). 142-148.
- 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.
- Fikri, M., D., Debataraja, N. N., dan Kusnandar, D. Penentuan Sebaran Spasial Pencemaran Air di Kota Pontianak Menggunakan Analisis Diskriminan Dua Kelompok. *Jurnal Media Statistika*. 2019. **12**(2), 226-235.
- Fotheringham, A. S., Brunson, C., dan Charlton, M. 2002. *Geographically Weighted Regression*. West Sussex: John Wiley and Sons.
- Ispryanti, D., Yasin, H., Warsito, B., Hoyyi, A., dan Winarso, K. Mixed Geographically Weighted Regression Using Adaptive Bandwidth to Modeling of Air Polluter Standard Index. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017. **12**(15).
- Kusnandar, D., Debataraja, N.N., Mara, M.N., Satyahadewi, N. 2019. *Metode Statistika dan Aplikasinya*. Pontianak: Untan Press.
- Kusnandar, D., Debataraja, N.N., dan Dewri, P. R. Classification of Water Quality in Pontianak City Using Multivariate Statistical Techniques. *Applied Mathematical Sciences*. 2019. **13**(22), 1069-1075
- Tizona, A. R., Goejantoro, R., dan Wasono. Pemodelan *Geographically Weighted Regression* (GWR) dengan Fungsi Pembobotan *Adaptive Bisquare Kernel* untuk Angka Kesakitan Demam Berdarah di Kalimantan Timur Tahun 2015. *Jurnal Eksponensial*. 2017. **8**(1), 87-94.
- Yasin, H. Uji Hipotesis *Mixed Geographically Weighted Regression* (Mixed GWR) dengan Metode *Bootstrap*. *Prosiding Seminar Nasional Statistika. Universitas Diponegoro*. 2013. 527-536.