Pengujian Hipotesis Parameter Model *Mixed Geographically Weighted Regression* Data Indeks Pembangunan Manusia di Kalimantan Tahun 2016

Parameter Hypotheses Testing of Mixed Geographically Weighted Regression Model of Borneos Human Development Index Data 2016

Riska Putri Utami, Suyitno, dan Memi Nor Hayati
[1]Laboratorium Statistika Terapan FMIPA Universitas Mulawarman
E-mail: riska.putri96@gmail.com

Abstract

Mixed Geographically Weighted Regression (MGWR) model is a Geographically Weighted Regression (GWR) model with some parameters are global (have the same value) and several other parameters are local (have different values) for each observation location. The purpose of this study is to obtain a MGWR model on the Human Development Index (HDI) data and find out the factors that influence the HDI of each district (city) in the provinces of East Kalimantan, Central Kalimantan and South Kalimantan in 2016. The parameter estimation method is carried out through two stages (backshift), namely local parameter estimation by using the Weighted Least Square (WLS) method and global parameter estimation by using the Ordinary Least Square (OLS) method. Spatial weighting on local parameter estimation is obtained by using an adaptive Bisquare weighting functions, where optimum bandwidth determination uses Generalized Cross-Validation (GCV) criterion. Based on the result of MGWR parameter testing, it was concluded that the school enrollment rates (SMP) affected the HDI of all districts (cities) in East Kalimantan, Central Kalimantan and South Kalimantan, while the population density affects the HDI only in a few districts (cities), namely East Kutai, Balikpapan, Samarinda and Bontang.

Keywords: GCV, HDI, MGWR, OLS, WLS.

Pendahuluan

Analisis regresi linier adalah analisis statistika yang digunakan untuk memodelkan hubungan linier antara sebuah variabel terikat terhadap satu atau lebih variabel bebas yang memiliki beberapa asumsi terkait *error* yang harus terpenuhi (Rencher & Schaalje, 2008). Permasalahan yang timbul dari pengembangan analisis regresi linier adalah bagaimana cara penerapan analisis regresi linier pada data spasial. Data spasial adalah data yang memuat atribut dan informasi lokasi geografis yang memiliki karakteristik berupa autokorelasi spasial dan heterogenitas spasial (Fotheringham dkk, 2002). Pemodelan data spasial menggunakan analisis regresi linier akan menghasilkan model yang tidak valid dikarenakan karakteristik dari data spasial yang melanggar asumsi regresi linier. Salah satu model regresi yang sesuai untuk diaplikasikan pada data spasial adalah model GWR.

Prinsip dari model GWR adalah penaksiran parameter dilakukan pada setiap lokasi pengamatan sehingga menghasilkan model lokal yang berbeda serta penaksiran dilakukan menggunakan pembobot spasial. Salah satu metode penaksiran parameter model GWR yaitu metode *Weighted Least Square* (WLS). Pengujian hipotesis pada model GWR adalah pengujian kesesuaian model, pengujian parameter secara serentak dan pengujian parameter secara parsial. Berdasarkan hasil dari pengujian parameter secara parsial, diduga terdapat beberapa parameter bersifat global (mempunyai nilai yang sama) dan beberapa parameter lain bersifat lokal (mempunyai nilai yang berbeda) untuk setiap lokasi pengamatan, sehingga dikembangkan model MGWR. Penaksiran parameter model MGWR terdiri dari penaksiran parameter yang bersifat lokal menggunakan metode WLS dan penaksiran parameter yang bersifat global menggunakan *Ordinary Least Square* (OLS).

Salah satu data yang diduga data spasial adalah data IPM. IPM merupakan ukuran keberhasilan pembangunan di suatu daerah (BPS, 2016). IPM setiap kabupaten/kota di suatu daerah cenderung tidak sama dan sangat dipengaruhi oleh karakteristik kabupaten/kota pada daerah itu sendiri.

Penelitian ini dibatasi pada fungsi pembobot *bisquare* adaptif, penentuan *bandwidth* optimum menggunakan kriteria *Generalized Cross-Validaton* (GCV) dan unsur spasial berupa tipe titik di mana lokasi pengamatan dinyatakan dalam koordinat lintang dan bujur (u_i, v_i). Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan model MGWR pada data IPM setiap kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur, Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan tahun 2016 serta mendapatkan faktor-faktor yang memengaruhinya dan memberikan interpretasi atas model MGWR yang diperoleh.

Model Regresi Linier

Analisis regresi linier merupakan analisis statistika yang digunakan untuk memodelkan hubungan sebuah variabel terikat Y_i dan variabel bebas $X_1, X_2, \ldots, X_p$. Model regresi linier yang menyatakan hubungan variabel terikat dengan *p* variabel bebas pada pengamatan ke-*i* dapat ditulis sebagai

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{k=1}^{p} \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i \ , \ i = 1, 2, \ldots, n \quad (1)$$

dengan $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_p$ adalah parameter model dan $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \ldots, \varepsilon_n$ adalah *error* yang diasumsikan identik, independen dan berdistribusi normal dengan *mean* nol dan variansi konstan σ^2 atau dituliskan sebagai $\varepsilon_i \sim IIDN(0, \sigma^2)$. Salah satu penaksiran parameter yang diberikan oleh persamaan (1) adalah OLS. Nilai $\hat{\boldsymbol{\beta}}$ yaitu

$$\boldsymbol{\beta} = (\mathbf{X}^T\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}^T\mathbf{Y} \ , \quad (2)$$

dengan

$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} Y_1 & Y_2 & \ldots & Y_n \end{bmatrix}^T$ dan

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & \ldots & X_{1p} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & \ldots & X_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{n1} & X_{n2} & \ldots & X_{np} \end{bmatrix}$$

(Rencher & Schaalje, 2008)

Model *Geographically Weighted Regression* (GWR)

Model GWR merupakan pengembangan dari model regresi linier di mana penaksiran parameter dilakukan pada setiap lokasi pengamatan sehingga menghasilkan model lokal yang berbeda dan penaksiran parameter menggunakan pembobot spasial. Model GWR pada lokasi ke-*i* dapat ditulis sebagai

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^{p} \beta_k(u_i, v_i) X_{ik} + \omega_i \ , \ i = 1, 2, \ldots, n \quad (3)$$

dengan asumsi $\omega_i \sim IIDN(0, \sigma^2)$.

Salah satu penaksiran parameter yang diberikan oleh persamaan (3) adalah WLS. Nilai $\hat{\boldsymbol{\beta}}(u_i, v_i)$ yaitu

$$\boldsymbol{\beta}(u_i, v_i) = (\mathbf{X}^T\mathbf{W}(u_i, v_i)\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}^T\mathbf{W}(u_i, v_i)\mathbf{Y} \ . \quad (4)$$

Menurut (Suyitno dkk, 2016), salah satu fungsi pembobot pada penaksiran parameter adalah fungsi *bisquare* adaptif, yaitu

$$w_{ij} = \begin{cases} \left(1 - \left(\dfrac{d_{ij}}{b_i}\right)^2\right)^2 & , \text{jika } d_{ij} < b_i \\ 0 & , \text{jika } d_{ij} \geq b_i \end{cases} \quad (5)$$

dengan d_{ij} adalah jarak *euclidean* antara lokasi (u_i, v_i) dan (u_j, v_j) dimana

$$d_{ij} = \sqrt{(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2} \quad (6)$$

dan b_i adalah *bandwidth* pada loksi ke-*i*. Salah satu kriteria yang dapat digunakan untuk menentukan *bandwidth* optimum adalah GCV. Nilai GCV dihitung menggunakan rumus

$$GCV = n\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \hat{Y}_i(b_i))^2 \Big/ (n - tr(\mathbf{L}))^2 \ , \quad (7)$$

dengan $\hat{Y}_i(b_i)$ adalah nilai taksiran dari Y_i dan

$$\mathbf{L} = \begin{pmatrix} \mathbf{X}_1^T(\mathbf{X}^T\mathbf{W}(u_1, v_1)\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}^T\mathbf{W}(u_1, v_1) \\ \mathbf{X}_2^T(\mathbf{X}^T\mathbf{W}(u_2, v_2)\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}^T\mathbf{W}(u_2, v_2) \\ \vdots \\ \mathbf{X}_n^T(\mathbf{X}^T\mathbf{W}(u_n, v_n)\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}^T\mathbf{W}(u_n, v_n) \end{pmatrix} \quad (8)$$

(Fotheringham dkk, 2002)

Model *Mixed Geographically Weighted Regression* (MGWR)

Berdasarkan hasil dari pengujian parameter secara parsial model GWR diduga terdapat beberapa parameter bersifat global (mempunyai nilai yang sama) dan beberapa parameter lain bersifat lokal (mempunyai nilai yang berbeda) untuk setiap lokasi pengamatan, sehingga dikembangkan model MGWR. Langkah awal sebelum menentukan model MGWR adalah melakukan identifikasi parameter yang bersifat lokal dan global model GWR. Hipotesis untuk pengujian identifikasi parameter ke-*k* tertentu $(k = 0, 1, 2, \ldots, p)$ adalah

$\mathrm{H}_0 : \beta_k(u_1, v_1) = \beta_k(u_2, v_2) = \ldots = \beta_k(u_n, v_n)$

(parameter β_k bersifat global)

H_1 : paling tidak ada satu $\beta_k(u_i, v_i) \neq \beta_k(u_j, v_j)$,

$i \neq j \ ; i, j = 1, 2, \ldots, n$

(parameter β_k bersifat lokal)

Statistik uji untuk pengujian identifikasi parameter adalah

$$F_k = \frac{V_k^2 / \gamma_1}{JKE(\mathrm{GWR}) / \delta_1} \ , \quad (9)$$

dengan

$$V_k^2 = \frac{1}{n}\mathbf{Y}^T\mathbf{B}^T\left(\mathbf{I} - \frac{1}{n}\mathbf{J}\right)\mathbf{B}\mathbf{Y} \ ,$$

dan

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} \mathbf{e}_k^T(\mathbf{X}^T\mathbf{W}(u_1, v_1)\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}^T\mathbf{W}(u_1, v_1) \\ \mathbf{e}_k^T(\mathbf{X}^T\mathbf{W}(u_2, v_2)\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}^T\mathbf{W}(u_2, v_2) \\ \vdots \\ \mathbf{e}_k^T(\mathbf{X}^T\mathbf{W}(u_n, v_n)\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}^T\mathbf{W}(u_n, v_n) \end{pmatrix} ,$$

di mana $\mathbf{e}_k$ merupakan vektor berukuran $(p+1) \times 1$ yang bernilai satu untuk elemen ke-*k* dan bernilai nol untuk elemen lainnya, serta

$$\mathrm{JKE(GWR)} = \boldsymbol{\omega}^T\boldsymbol{\omega} = \mathbf{Y}^T(\mathbf{I} - \mathbf{L})^T(\mathbf{I} - \mathbf{L})\mathbf{Y} \ .$$

Uji tersebut menolak H_0 apabila $F_k \geq F_{\left(\alpha;\frac{\gamma_1^2}{\gamma_2};\frac{\delta_1^2}{\delta_2}\right)}$ atau $p\text{-value} < \alpha$, dengan γ_1 dan γ_2 diberikan oleh

$$\gamma_s = tr\left(\left(\frac{1}{n}\mathbf{B}^T\left(\mathbf{I}-\frac{1}{n}\mathbf{J}\right)\mathbf{B}\right)^s\right), s = 1,2$$

sedangkan δ_1 dan δ_2 diberikan oleh

$$\delta_s = tr(((\mathbf{I}-\mathbf{L})^T(\mathbf{I}-\mathbf{L}))^s), s = 1,2$$

di mana $\mathbf{L}$ diberikan pada persamaan (8).

(Leung dkk, 2000)

Misalkan berdasarkan uji identifikasi terdapat q parameter bersifat lokal dan $(p+1)-q$ parameter bersifat global termasuk konstanta, maka model MGWR pada lokasi ke-*i* dapat ditulis sebagai

$$Y_i = \sum_{k=1}^{q}\beta_k(u_i,v_i)X_{ik} + \beta_0 + \sum_{k=q+2}^{p}\beta_k X_{ik} + \lambda_i \quad (10)$$

dengan asumsi $\lambda_i \sim IIDN(0,\sigma^2)$. Model MGWR pada persamaan (10) dapat ditulis dalam notasi matriks yaitu

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}_\ell \boldsymbol{\beta}_\ell(u_i,v_i) + \mathbf{X}_g\boldsymbol{\beta}_g + \boldsymbol{\lambda},$$

dengan

$$\mathbf{X}_\ell = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1q} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2q} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nq} \end{bmatrix}, \boldsymbol{\beta}_\ell(u_i,v_i) = \begin{bmatrix} \beta_1(u_i,v_i) \\ \beta_2(u_i,v_i) \\ \vdots \\ \beta_q(u_i,v_i) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{X}_g = \begin{bmatrix} 1 & X_{1,(q+2)} & X_{1,(q+3)} & \cdots & X_{1p} \\ 1 & X_{2,(q+2)} & X_{2,(q+3)} & \cdots & X_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{n,(q+2)} & X_{n,(q+3)} & \cdots & X_{np} \end{bmatrix}, \boldsymbol{\beta}_g = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_{q+2} \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix}$$

Tahapan setelah mendapatkan model MGWR adalah melakukan penaksiran parameter model MGWR. Penaksiran parameter model MGWR terdiri dari dua tahap yaitu penaksiran parameter yang bersifat lokal dan penaksiran parameter yang bersifat global. Penaksiran parameter yang bersifat lokal menggunakan metode WLS sehingga didapat nilai $\boldsymbol{\beta}_\ell(u_i,v_i)$ yaitu

$$\begin{aligned}\boldsymbol{\beta}_\ell(u_i,v_i) &= (\mathbf{X}_\ell^T\mathbf{W}(u_i,v_i)\mathbf{X}_\ell)^{-1}\mathbf{X}_\ell^T\mathbf{W}(u_i,v_i) \\ &(\mathbf{Y}-\mathbf{X}_g\boldsymbol{\beta}_g)\end{aligned} \quad (11)$$

dan penaksiran parameter yang bersifat global menggunakan metode OLS sehingga didapat nilai $\boldsymbol{\beta}_g$ yaitu

$$\begin{aligned}\boldsymbol{\beta}_g &= (\mathbf{X}_g{}^T(\mathbf{I}-\mathbf{S}_\ell)^T(\mathbf{I}-\mathbf{S}_\ell)\mathbf{X}_g)^{-1}\mathbf{X}_g^T \\ &(\mathbf{I}-\mathbf{S}_\ell)^T(\mathbf{I}-\mathbf{S}_\ell)\mathbf{Y}\text{, dimana}\end{aligned} \quad (12)$$

$$\mathbf{S}_\ell = \begin{pmatrix} \mathbf{X}_{\ell 1}(\mathbf{X}_\ell^T\mathbf{W}(u_1,v_1)\mathbf{X}_\ell)^{-1}\mathbf{X}_\ell^T\mathbf{W}(u_1,v_1) \\ \mathbf{X}_{\ell 2}(\mathbf{X}_\ell^T\mathbf{W}(u_2,v_2)\mathbf{X}_\ell)^{-1}\mathbf{X}_\ell^T\mathbf{W}(u_2,v_2) \\ \vdots \\ \mathbf{X}_{\ell n}(\mathbf{X}_\ell^T\mathbf{W}(u_n,v_n)\mathbf{X}_\ell)^{-1}\mathbf{X}_\ell^T\mathbf{W}(u_n,v_n) \end{pmatrix}. \quad (13)$$

(Chang & Mei, 2005)

Pengujian hipotesis model MGWR terdiri dari pengujian kesesuaian model, pengujian parameter secara serentak dan pengujian parameter secara parsial. Pengujian kesesuaian model digunakan untuk menjelaskan apakah model MGWR berbeda dari model GWR. Hipotesis pada pengujian kesesuaian model adalah

H_0 : paling tidak ada satu $\beta_k(u_i,v_i) \neq \beta_k(u_j,v_j)$

(model MGWR sama dengan model GWR)

H_1 : $\beta_k(u_i,v_i) = \beta_k(u_j,v_j)$, dengan $k = q+1,\dots,p$

(model MGWR berbeda dengan model GWR)

Statistik uji untuk pengujian kesesuaian model adalah

$$F(1) = \frac{\mathbf{Y}^T((\mathbf{I}-\mathbf{H})-(\mathbf{I}-\mathbf{S})^T(\mathbf{I}-\mathbf{S}))\mathbf{Y}/t_1}{\mathbf{Y}^T(\mathbf{I}-\mathbf{S})^T(\mathbf{I}-\mathbf{S})\mathbf{Y}/h_1}, \quad (14)$$

dengan

$$\mathbf{H} = \mathbf{X}(\mathbf{X}^T\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}^T,$$

dan

$$\begin{aligned}\mathbf{S} &= \mathbf{S}_\ell + (\mathbf{I}-\mathbf{S}_\ell)\mathbf{X}_g(\mathbf{X}_g^T(\mathbf{I}-\mathbf{S}_\ell)^T(\mathbf{I}-\mathbf{S}_\ell)\mathbf{X}_g)^{-1} \\ &\mathbf{X}_g^T(\mathbf{I}-\mathbf{S}_\ell)^T(\mathbf{I}-\mathbf{S}_\ell).\end{aligned} \quad (15)$$

Uji tersebut menolak H_0 apabila $F(1) \geq F_{\left(\alpha;\frac{t_1^2}{t_2};\frac{h_1^2}{h_2}\right)}$ atau $p\text{-value} < \alpha$, dengan t_1 dan t_2 diberikan oleh

$$t_s = tr(((\mathbf{I}-\mathbf{H})-(\mathbf{I}-\mathbf{S})^T(\mathbf{I}-\mathbf{S}))^s), s = 1,2$$

sedangkan h_1 dan h_2 diberikan oleh

$$h_s = tr(((\mathbf{I}-\mathbf{S})^T(\mathbf{I}-\mathbf{S}))^s), s = 1,2. \quad (16)$$

Pengujian hipotesis berikutnya setelah pengujian kesesuaian model adalah pengujian parameter secara serentak. Pengujian parameter secara serentak dilakukan pada parameter yang bersifat global dan parameter yang bersifat lokal. Hipotesis pada pengujian parameter yang bersifat global secara serentak adalah

H_0 : $\beta_{q+1} = \beta_{q+2} = \ldots = \beta_p = 0$

H_1 : paling tidak ada satu $\beta_k \neq 0$,

dengan $k = q+1, q+2, \dots, p$

Statistik uji pada pengujian parameter yang bersifat global secara serentak adalah

$$F(2)=\frac{\mathbf{Y}^T((\mathbf{I}-\mathbf{S}_\ell)^T(\mathbf{I}-\mathbf{S}_\ell)-(\mathbf{I}-\mathbf{S})^T(\mathbf{I}-\mathbf{S}))\mathbf{Y}/r_1}{\mathbf{Y}^T(\mathbf{I}-\mathbf{S})^T(\mathbf{I}-\mathbf{S})\mathbf{Y}/h_1} \quad (17)$$

dengan $\mathbf{S}_\ell$ dan $\mathbf{S}$ masing-masing diberikan oleh persamaan (13) dan (15). Uji tersebut menolak H_0 apabila $F(2)\geq F_{\left(\alpha;\frac{r_1^2}{r_2};\frac{h_1^2}{h_2}\right)}$ atau $p\text{-}value<\alpha$, dengan r_1 & r_2 diberikan oleh

$$r_s=tr(((\mathbf{I}-\mathbf{S}_\ell)^T(\mathbf{I}-\mathbf{S}_\ell)-(\mathbf{I}-\mathbf{S})^T(\mathbf{I}-\mathbf{S}))^s),\ s=1,2$$

Sedangkan h_1 & h_2 diberikan oleh persamaan (16).

Hipotesis pada pengujian parameter yang bersifat lokal secara serentak adalah

$\mathrm{H}_0:\beta_1(u_i,v_i)=\beta_2(u_i,v_i)=\ldots=\beta_q(u_i,v_i)=0$

$\mathrm{H}_1:$ paling tidak ada satu $\beta_k(u_i,v_i)\neq 0$, dengan $k=1,2,\ldots,q$ dan $i=1,2,\ldots,n$

Statistik uji pada pengujian parameter yang bersifat lokal secara serentak adalah

$$F(3)=\frac{\mathbf{Y}^T((\mathbf{I}-\mathbf{S}_g)^T(\mathbf{I}-\mathbf{S}_g)-(\mathbf{I}-\mathbf{S})^T(\mathbf{I}-\mathbf{S}))\mathbf{Y}/z_1}{\mathbf{Y}^T(\mathbf{I}-\mathbf{S})^T(\mathbf{I}-\mathbf{S})\mathbf{Y}/h_1} \quad (18)$$

dengan $\mathbf{S}_g=\mathbf{X}_g(\mathbf{X}_g^T\mathbf{X}_g)^{-1}\mathbf{X}_g^T$ dan $\mathbf{S}$ diberikan oleh persamaan (15). Uji tersebut menolak H_0 apabila $F(3)\geq F_{\left(\alpha;\frac{z_1^2}{z_2};\frac{h_1^2}{h_2}\right)}$ atau $p\text{-}value<\alpha$, dengan z_1 & z_2 diberikan oleh

$$z_s=tr(((\mathbf{I}-\mathbf{S}_g)^T(\mathbf{I}-\mathbf{S}_g)-(\mathbf{I}-\mathbf{S})^T(\mathbf{I}-\mathbf{S}))^s),\ s=1,2$$

sedangkan h_1 & h_2 diberikan oleh persamaan (16).

Pengujian hipotesis yang terakhir adalah pengujian parameter secara parsial. Seperti pada pengujian parameter secara serentak, pengujian parameter secara parsial juga dilakukan pada parameter yang bersifat global dan parameter yang bersifat lokal. Hipotesis pada pengujian parameter yang bersifat global secara parsial untuk k tertentu $(k=q+1,q+2,\ldots,p)$ adalah

$\mathrm{H}_0:\beta_k=0$

$\mathrm{H}_1:\beta_k\neq 0$

Statistik uji pada pengujian parameter yang bersifat global secara parsial adalah

$$t_g=\frac{\beta_k}{se(\beta_k)}, \quad (19)$$

dengan $se(\beta_k)=\sigma_{MGWR}\sqrt{f_{kk}}$ adalah simpangan baku dari β_k di mana

$$\sigma_{MGWR}=\sqrt{\frac{\mathbf{Y}^T(\mathbf{I}-\mathbf{S})^T(\mathbf{I}-\mathbf{S})\mathbf{Y}}{tr((\mathbf{I}-\mathbf{S})^T(\mathbf{I}-\mathbf{S}))}}, \quad (20)$$

$\mathbf{S}$ diberikan oleh persamaan (15) dan f_{kk} adalah elemen diagonal ke-k dari matriks $\mathbf{FF}^T$ di mana

$$\mathbf{F}=(\mathbf{X}_g^T(\mathbf{I}-\mathbf{S}_\ell)^T(\mathbf{I}-\mathbf{S}_\ell)\mathbf{X}_g)^{-1}\mathbf{X}_g^T(\mathbf{I}-\mathbf{S}_\ell)^T(\mathbf{I}-\mathbf{S}_\ell). \quad (21)$$

Uji tersebut menolak H_0 apabila $|t_g|\geq t_{\left(\frac{\alpha}{2};\frac{h_1^2}{h_2}\right)}$ atau $p\text{-}value<\alpha$, dengan h_1 & h_2 diberikan oleh persamaan (16).

Hipotesis pada pengujian parameter yang bersifat lokal secara parsial pada lokasi ke-i untuk k tertentu $(k=1,2,\ldots,q)$ adalah

$\mathrm{H}_0:\beta_k(u_i,v_i)=0$

$\mathrm{H}_1:\beta_k(u_i,v_i)\neq 0$

Statistik uji pada pengujian parameter yang bersifat lokal secara parsial adalah

$$t_\ell=\frac{\beta_k(u_i,v_i)}{se(\beta_k(u_i,v_i))}, \quad (22)$$

dengan $se(\beta_k(u_i,v_i))=\sigma_{MGWR}\sqrt{m_{kk}}$ adalah simpangan baku dari $\beta_k(u_i,v_i)$ di mana σ_{MGWR} diberikan pada persamaan (20) dan m_{kk} adalah elemen diagonal ke-k dari matriks $\mathbf{M}_i\mathbf{M}_i^T$ di mana

$$\mathbf{M}=(\mathbf{X}_\ell^T\mathbf{W}(u_i,v_i)\mathbf{X}_\ell)^{-1}\mathbf{X}_\ell^T\mathbf{W}(u_i,v_i)(\mathbf{I}-\mathbf{X}_g\mathbf{F})$$

dengan $\mathbf{F}$ diberikan oleh persamaan (21). Uji tersebut menolak H_0 apabila $|t_\ell|\geq t_{\left(\frac{\alpha}{2};\frac{h_1^2}{h_2}\right)}$,dengan h_1 & h_2 diberikan oleh persamaan (16).

(Wuryanti dkk, 2013)

Indeks Pembangunan Manusia

IPM menjadi indikator penting untuk mengukur keberhasilan dalam upaya membangun kualitas hidup manusia yang dapat menjelaskan bagaimana penduduk dapat mengakses hasil pembangunan dalam memperoleh pendidikan, kesehatan dan pendapatan. IPM mengukur pencapaian rata-rata sebuah negara dalam tiga dimensi dasar pembangunan manusia, yaitu umur panjang dan sehat (*longevity*), pengetahuan (*knowledge*) dan standar hidup layak (*decent living standard*). *Longevity* diukur dengan angka harapan hidup (AHH) saat kelahiran. K*nowledge* diukur dengan Harapan Lama Sekolah (HLS) dan Rata-Rata Lama Sekolah (RLS). *Decent living standard* diukur dengan kemampuan daya beli.

(Mirza, 2012)

Hasil Penelitian dan Pembahasan

1. Data Penelitian

Data penelitian terdiri atas IPM (Y), angka partisipasi sekolah (SMP) (X_1), persentase penduduk yang tamat SMP (X_2), jumlah sarana kesehatan (X_3), kepadatan penduduk (X_4), persentase penduduk miskin (X_5), tingkat pengangguran terbuka (X_6) dan koordinat titik lokasi pengamatan (letak lintang dan bujur) pada kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur, Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan tahun 2016.

2. Model Regresi Linier

Subbab ini membahas model regresi linier yang meliputi penaksiran parameter, pengujian parameter secara serentak, pengujian parameter secara parsial dan pengujian heterogenitas spasial.

a. Penaksiran Parameter Model Regresi Linier

Penaksiran parameter model regresi linier menggunakan metode OLS. Berdasarkan persamaan (2) maka model regresi linier yang terbentuk yaitu

$$\hat{Y} = 34{,}12134 + 0{,}41257X_1 - 0{,}01264X_2 + 0{,}00387X_3 + 0{,}00078X_4 - 0{,}90250X_5 + 0{,}35371X_6$$

Nilai GCV model regresi linier sebesar 14,83882.

b. Pengujian Parameter Model Regresi Linier Secara Serentak

Hipotesis pada pengujian parameter secara serentak adalah

$\mathrm{H}_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = 0$

H_1 : paling tidak ada satu $\beta_k \neq 0$, dengan $k = 1,2,..,6$

Hasil perhitungan uji parameter model regresi linier secara serentak disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Statistik Uji Parameter Model Regresi Linier Secara Serentak

F	*p-value*	Keputusan
5,00844	0,00205	H_0 ditolak

Berdasarkan Tabel 1 disimpulkan bahwa angka partisipasi sekolah (SMP), persentase penduduk yang tamat SMP, jumlah sarana kesehatan, kepadatan penduduk, persentase penduduk miskin dan tingkat pengangguran terbuka secara serentak berpengaruh terhadap IPM. Hal tersebut dilihat pada $F = 5{,}00800 > F_{(0,05;6;23)} = 2{,}52766$ atau $p\text{-}value = 0{,}00205 < \alpha = 0{,}05$.

c. Pengujian Parameter Model Regresi Linier Secara Parsial

Hipotesis pada pengujian parameter secara parsial adalah

$\mathrm{H}_0 : \beta_k = 0$

$\mathrm{H}_1 : \beta_k \neq 0$, $k = 0,1,2,3,4,5,6$

Hasil perhitungan uji parameter model regresi linier secara serentak disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Statistik Uji Parameter Model Regresi Linier Secara Parsial

Variabel	$\lvert t \rvert$	*p-value*	Keputusan
Konstanta	2,13000	0,04409	H_0 ditolak
X_1	2,43000	0,02331	H_0 ditolak
X_2	0,04800	0,96250	H_0 gagal ditolak
X_3	1,57000	0,13007	H_0 gagal ditolak
X_4	1,76000	0,09160	H_0 gagal ditolak
X_5	2,24600	0,03461	H_0 ditolak
X_6	0,85778	0,39987	H_0 gagal ditolak

Berdasarkan Tabel 2 disimpulkan bahwa konstanta, angka partisipasi sekolah (SMP) dan persentase penduduk miskin masing-masing secara individual berpengaruh terhadap IPM. Hal ini dilihat pada $\lvert t \rvert > t_{(0,025;23)} = 2{,}06866$ atau nilai *p-value* kurang dari $\alpha = 0{,}05$. Persentase penduduk yang tamat SMP, jumlah sarana kesehatan, kepadatan penduduk dan tingkat pengangguran terbuka masing-masing secara individual tidak berpengaruh terhadap IPM. Hal ini dilihat pada $\lvert t \rvert < t_{(0,025;23)} = 2{,}06866$ atau nilai *p-value* lebih dari $\alpha = 0{,}05$.

d. Pengujian Heterogenitas Spasial

Pengujian heterogenitas spasial bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat hubungan antara variabel terikat (IPM) dengan lokasi geografis. Pengujian heterogenitas spasial menggunakan uji Glejser. Hasil perhitungan pengujian heterogenitas spasial disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Statistik Uji Heterogenitas Spasial

F	*p-value*	Keputusan
4,70100	0,00293	H_0 ditolak

Berdasarkan Tabel 3 diperoleh bahwa nilai $F = 4{,}70100 > F_{(0,05;6;23)} = 2{,}52766$ atau $p\text{-}value = 0{,}00293 < \alpha = 0{,}05$, sehingga disimpulkan bahwa terjadi heterogenitas spasial. Hal ini diduga karena dipengaruhi oleh faktor luar, yaitu faktor lokasi geografis.

3. Model *Geographically Weighted Regression* (GWR)

Langkah pertama dalam melakukan analisis model GWR adalah menghitung jarak *euclidean* pada persamaan (6). Langkah selanjutnya adalah menghitung pembobot spasial menggunakan fungsi *Bisquare* adaptif pada persamaan (5), di mana *bandwidth* optimum menggunakan kriteria GCV pada persamaan (7). Subbab ini membahas model GWR yang meliputi penaksiran parameter, pengujian kesesuaian model, pengujian parameter secara serentak dan pengujian parameter secara parsial.

a. Penaksiran Parameter Model GWR

Penaksiran parameter model GWR menggunakan metode WLS. Berdasarkan persamaan (4) maka model GWR untuk setiap lokasi yaitu

$$\hat{Y}_1 = 34{,}11960 + 0{,}41259X_1 - 0{,}01265X_2 + 0{,}00387X_3 + 0{,}00078X_4 - 0{,}90242X_5 + 0{,}35368X_6$$

$$\hat{Y}_2 = 34{,}11700 + 0{,}41261X_1 - 0{,}01261X_2 + 0{,}00388X_3 + 0{,}00079X_4 - 0{,}90245X_5 + 0{,}35370X_6$$

$$\vdots$$

$$\hat{Y}_{30} = 34{,}12500 + 0{,}41254X_1 - 0{,}01267X_2 + 0{,}00387X_3 + 0{,}00078X_4 - 0{,}90252X_5 + 0{,}35361X_6$$

Nilai GCV model GWR sebesar 13,43643.

b. Pengujian Kesesuaian Model GWR

Pengujian kesesuaian model bertujuan untuk menjelaskan apakah model GWR berbeda dari model regresi linier. Hipotesis pada pengujian kesesuaian model GWR adalah

$\mathrm{H}_0 : \beta_k(u_i, v_i) = \beta_k$

(model GWR sama dengan model regresi linier)

H_1 : paling tidak ada satu $\beta_k(u_i, v_i) \neq \beta_k$, dengan $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ dan $i = 1, 2, \ldots, 30$

(model GWR berbeda dengan model regresi linier)

Hasil perhitungan pengujian kesesuaian model GWR disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Statistik Uji Kesesuaian Model GWR

$F_{kesesuaian}$	*p-value*	Keputusan
3,05202	0,04986	H_0 ditolak

Berdasarkan Tabel 4 diperoleh bahwa nilai $F_{kesesuaian} = 3{,}05202 > F_{(0{,}05;3;22)} = 3{,}04913$ atau *p-value* $= 0{,}04986 < \alpha = 0{,}05$, sehingga disimpulkan bahwa model GWR berbeda dengan model regresi linier.

c. Pengujian Parameter Model GWR Secara Serentak

Hipotesis pada pengujian parameter secara serentak adalah

$\mathrm{H}_0 : \beta_1(u_i, v_i) = \beta_2(u_i, v_i) = \beta_3(u_i, v_i) = \beta_4(u_i, v_i) = \beta_5(u_i, v_i) = \beta_6(u_i, v_i) = 0$

H_1 : paling tidak ada satu $\beta_k(u_i, v_i) \neq 0$, dengan $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ dan $i = 1, 2, \ldots, 30$

Hasil perhitungan pengujian parameter model GWR secara serentak disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Statistik Uji Parameter Model GWR Secara Serentak

$F_{serentak}$	*p-value*	Keputusan
2,01002	0,04768	H_0 ditolak

Berdasarkan Tabel 5 disimpulkan bahwa angka partisipasi sekolah (SMP), persentase penduduk yang tamat SMP, jumlah sarana kesehatan, kepadatan penduduk, persentase penduduk miskin dan tingkat pengangguran terbuka secara serentak berpengaruh terhadap IPM. Hal ini dilihat pada $F_{serentak} = 2{,}01002 > F_{(0{,}05;29;22)} = 1{,}99040$ atau *p-value* $= 0{,}04768 < \alpha = 0{,}05$.

d. Pengujian Parameter Model GWR Secara Parsial

Hipotesis pada pengujian parameter secara parsial adalah

$\mathrm{H}_0 : \beta_k(u_i, v_i) = 0$

$\mathrm{H}_1 : \beta_k(u_i, v_i) \neq 0$; $k = 1, 2, .., 6$ dan $i = 1, 2, \ldots, 30$

Kriteria penolakan hipotesis nol adalah menolak H_0 pada taraf signifikansi $\alpha = 0{,}05$ jika $\left| t_{parsial} \right| \geq t_{(0{,}025;22)} = 2{,}07387$. Berdasarkan hasil pengujian parameter model GWR secara parsial, disimpulkan bahwa terdapat 4 variabel yang berpengaruh terhadap IPM yaitu konstanta, angka partisipasi sekolah (SMP), kepadatan penduduk dan persentase penduduk miskin. Variabel yang berpengaruh tersebut, sebagian diduga adalah variabel yang bersifat global (berpengaruh hampir di seluruh kabupaten/kota) dan beberapa variabel lain bersifat lokal (berpengaruh hanya di beberapa kabupaten/kota).

4. Model *Mixed Geographically Weighted Regression* (MGWR)

Subbab ini membahas model MGWR yang meliputi identifikasi parameter yang bersifat lokal dan global model GWR, penaksiran parameter, pengujian secara serentak parameter yang bersifat global, pengujian secara serentak parameter yang bersifat lokal, pengujian secara parsial parameter yang bersifat global dan pengujian secara parsial parameter yang bersifat lokal.

a. Identifikasi Parameter yang Bersifat Lokal dan Global Model GWR

Identifikasi parameter yang bersifat lokal dan global model GWR bertujuan untuk mengidentifikasi variabel bebas yang bersifat lokal dan global. Hipotesis untuk uji identifikasi parameter ke-*k* tertentu $(k = 0,1,2,3,4,5,6)$ adalah

$$\text{H}_0 : \beta_k(u_1, v_1) = \beta_k(u_2, v_2) = \ldots = \beta_k(u_{30}, v_{30})$$

$$\text{H}_1 : \text{paling tidak ada satu } \beta_k(u_i, v_i) \neq \beta_k(u_j, v_j)\ ,$$
$$i \neq j\ ;\ i, j = 1, 2, \ldots, 30$$

Statistik uji untuk pengujian identifikasi parameter yang bersifat lokal dan global diberikan oleh persamaan (9). Hasil perhitungan pengujian identifikasi parameter disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai Statistik Uji Identifikasi Parameter yang Bersifat Lokal dan Global Variabel Model GWR

Variabel	F_k	*p-value*	Keputusan
Konstanta	0,20298	0,81781	H_0 gagal ditolak
X_1	0,21675	0,80683	H_0 gagal ditolak
X_2	0,49173	0,61813	H_0 gagal ditolak
X_3	2,22301	0,13203	H_0 gagal ditolak
X_4	3,67306	0,04203	H_0 ditolak
X_5	1,13345	0,34001	H_0 gagal ditolak
X_6	0,28002	0,75842	H_0 gagal ditolak

Berdasarkan Tabel 6 disimpulkan bahwa kepadatan penduduk (X_4) merupakan variabel model GWR yang bersifat lokal karena $F_k > F_{(0,05;2;22)} = 3,44336$ atau nilai *p-value* kurang dari $\alpha = 0,05$. Variabel konstanta, angka partisipasi sekolah (SMP) (X_1), persentase penduduk yang tamat SMP (X_2), jumlah sarana kesehatan (X_3), persentase penduduk miskin (X_5) dan tingkat pengangguran terbuka (X_6) merupakan variabel model GWR yang bersifat global karena $F_k < F_{(0,05;2;22)} = 3,44336$ atau nilai *p-value* lebih dari $\alpha = 0,05$.

b. Penaksiran Parameter Model MGWR

Berdasarkan hasil pengujian identifikasi model GWR pada Tabel 6 diketahui bahwa variabel yang bersifat lokal adalah X_4 sedangkan variabel yang bersifat global adalah konstanta, X_1, X_2, X_3, X_5, X_6 sehingga model MGWR pada lokasi ke-*i* adalah

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4(u_i, v_i) X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \lambda_i\ .$$

Hasil penaksiran parameter model MGWR yang menyatakan hubungan antara variabel terikat terhadap variabel bebas untuk setiap lokasi yaitu

$$\hat{Y}_1 = 36,40380 + 0,38438 X_1 - 0,01622 X_2 + 0,00350 X_3 + 0,00088231 X_4 - 0,75409 X_5 + 0,19742 X_6$$

$$\hat{Y}_2 = 36,40380 + 0,38438 X_1 - 0,01622 X_2 + 0,00350 X_3 + 0,00088236 X_4 - 0,75409 X_5 + 0,19742 X_6$$

$$\vdots$$

$$\hat{Y}_{30} = 36,40380 + 0,38438 X_1 - 0,01622 X_2 + 0,00350 X_3 + 0,00088220 X_4 - 0,75409 X_5 + 0,19742 X_6$$

Nilai GCV model MGWR sebesar 13,40060.

c. Pengujian Kesesuaian Model MGWR

Pengujian kesesuaian model bertujuan untuk menjelaskan apakah model MGWR berbeda dari model GWR. Hipotesis pada pengujian kesesuaian model MGWR adalah

$$\text{H}_0 : \text{paling tidak ada satu } \beta_k(u_i, v_i) \neq \beta_k(u_j, v_j),$$
$$\text{dengan } k = 1, 2, 3, 5, 6 \text{ dan } i = 1, 2, \ldots, 30$$
(model MGWR sama dengan model GWR)

$$\text{H}_1 : \beta_k(u_i, v_i) = \beta_k(u_2, v_2) = \ldots = \beta_k(u_{30}, v_{30}),$$
$$\text{dengan } k = 1, 2, 3, 5, 6$$
(model MGWR berbeda dengan model GWR)

Statistik uji untuk pengujian kesesuaian model MGWR diberikan oleh persamaan (14). Hasil perhitungan pengujian kesesuaian model MGWR disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai Statistik Uji Kesesuaian Model MGWR

$F(1)$	*p-value*	Keputusan
4,35557	0,04816	H_0 ditolak

Berdasarkan Tabel 7 diperoleh bahwa nilai $F(1) = 4,35557 > F_{(0,05;1;23)} = 4,27934$ atau *p-value* $= 0,04816 < \alpha = 0,05$, sehingga disimpulkan bahwa model MGWR berbeda dengan model GWR.

d. Pengujian Parameter Global Model MGWR Secara Serentak

Hipotesis pada pengujian parameter yang bersifat global secara serentak adalah

$$\text{H}_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = 0$$

$$\text{H}_1 : \text{paling tidak ada satu } \beta_k \neq 0\ ,$$
$$\text{dengan } k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

Statistik uji untuk pengujian parameter yang bersifat global secara serentak diberikan oleh persamaan (17). Hasil perhitungan pengujian parameter global model MGWR secara serentak disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Nilai Statistik Uji Parameter Global Model MGWR Secara Serentak

$F(2)$	*p-value*	Keputusan
2007,86800	2,52766	H_0 ditolak

Berdasarkan Tabel 8 disimpulkan bahwa angka partisipasi sekolah (SMP), persentase penduduk yang tamat SMP, jumlah sarana kesehatan, persentase penduduk miskin dan tingkat pengangguran terbuka secara serentak berpengaruh terhadap IPM. Hal ini dilihat pada $F(2) = 2007,86800 > F_{(0,05;6;23)} = 2,52766$ atau $p\text{-}value = 0,00000 < \alpha = 0,05$.

e. Pengujian Parameter Lokal Model MGWR Secara Serentak

Hipotesis pada pengujian parameter yang bersifat lokal secara serentak adalah

$H_0 : \beta_4(u_i, v_i) = 0$

H_1 : paling tidak ada satu $\beta_k(u_i, v_i) \neq 0$,

dengan $k = 4$ dan $i = 1, 2, \ldots, 30$

Statistik uji untuk pengujian parameter yang bersifat lokal secara serentak diberikan oleh persamaan (18). Hasil perhitungan pengujian parameter lokal model MGWR secara serentak disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Nilai Statistik Uji Parameter Lokal Model MGWR Secara Serentak

$F(3)$	*p-value*	Keputusan
3,70748	0,04021	H_0 ditolak

Berdasarkan Tabel 9 diperoleh bahwa nilai $F(3) = 3,70748 > F_{(0,05;2;23)} = 3,42213$ atau $p\text{-}value = 0,04021 < \alpha = 0,05$, sehingga disimpulkan bahwa kepadatan penduduk secara serentak berpengaruh terhadap IPM.

f. Pengujian Parameter Global Model MGWR Secara Parsial

Hipotesis pada pengujian parameter yang bersifat global secara parsial adalah

$H_0 : \beta_k = 0$

$H_1 : \beta_k \neq 0$, $k = 0, 1, 2, 3, 5, 6$

Statistik uji untuk pengujian parameter yang bersifat global secara parsial diberikan oleh persamaan (19). Hasil perhitungan pengujian parameter global model MGWR secara parsial disajikan pada Tabel 10.

Berdasarkan Tabel 10 disimpulkan bahwa angka partisipasi sekolah (SMP) secara individual berpengaruh terhadap IPM. Hal tersebut ditunjukkan pada $|t_g| > t_{(0,025;23)} = 2,06866$ atau nilai *p-value* kurang dari $\alpha = 0,05$. Persentase penduduk yang tamat SMP, jumlah sarana kesehatan, persentase penduduk miskin dan tingkat pengangguran terbuka masing-masing secara individual tidak berpengaruh terhadap IPM. Hal ini dilihat pada $|t_g| > t_{(0,025;23)} = 2,06866$ atau nilai *p-value* lebih dari $\alpha = 0,05$.

Tabel 10. Nilai Statistik Uji Parameter Global Model MGWR Secara Parsial

Variabel	$\lvert t_g \rvert$	*p-value*	Keputusan
Konstanta	2,35605	0,02737	H_0 ditolak
X_1	2,43000	0,02803	H_0 ditolak
X_2	0,06348	0,94993	H_0 gagal ditolak
X_3	1,47217	0,15453	H_0 gagal ditolak
X_5	1,91785	0,06763	H_0 gagal ditolak
X_6	0,48763	0,63043	H_0 gagal ditolak

g. Pengujian Parameter Lokal Model MGWR Secara Parsial

Hipotesis pada pengujian parameter yang bersifat lokal secara parsial adalah

$H_0 : \beta_k(u_i, v_i) = 0$

$H_1 : \beta_k(u_i, v_i) \neq 0$, $k = 4$ dan $i = 1, 2, \ldots, 30$

Statistik uji untuk pengujian parameter yang bersifat lokal secara parsial diberikan oleh persamaan (22). Hasil perhitungan pengujian parameter lokal model MGWR secara parsial disajikan pada Tabel 11.

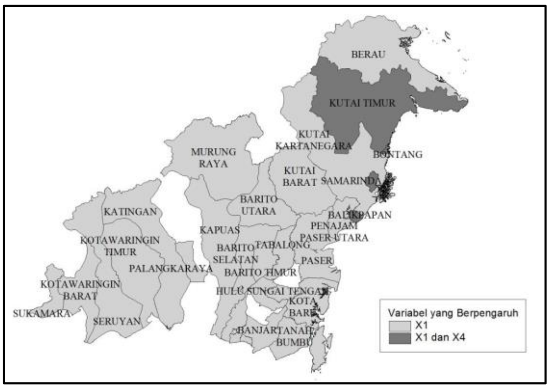
Tabel 11. Nilai Statistik Uji Parameter Lokal Model MGWR Secara Parsial

Kabupaten/Kota	$\lvert t_\ell \rvert$
	X_4
Paser	2,03282
Kutai Barat	2,03291
Kutai Kartanegara	2,03298
Kutai Timur	2,16227*
Berau	2,03333
Penajam Paser Utara	2,03291
Balikpapan	2,13162*
Samarinda	2,43122*
Bontang	2,10357*
⋮	⋮
Banjarmasin	1,88540
Banjarbaru	2,03263

Ket : *) signifikan pada $\alpha = 0,05$

Berdasarkan Tabel 11 disimpulkan bahwa kepadatan penduduk secara individual berpengaruh terhadap IPM pada 4 kabupaten/kota yaitu Kutai Timur, Balikpapan, Samarinda dan Bontang. Hal tersebut ditunjukkan pada $|t_\ell| > t_{(0,025;23)} = 2,06866$.

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh bahwa variabel yang bersifat global dan variabel yang bersifat lokal berpengaruh terhadap IPM di beberapa wilayah kabupaten/kota disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Variabel berpengaruh terhadap IPM pada model MGWR

Berdasarkan Gambar 1 disimpulkan bahwa variabel yang bersifat global yaitu variabel angka partisipasi sekolah (SMP), dikarenakan memiliki nilai parameter yang sama untuk seluruh kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur, Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan. Variabel yang bersifat lokal yaitu kepadatan penduduk, dikarenakan memiliki nilai parameter yang berbeda untuk seluruh kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur, Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Model MGWR data IPM setiap kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur, Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan tahun 2016 yaitu

$$\hat{Y}_1 = 36,40380 + 0,38438X_1 - 0,01622X_2 + 0,00350X_3 + 0,00088231X_4 - 0,75409X_5 + 0,19742X_6$$

$$\hat{Y}_2 = 36,40380 + 0,38438X_1 - 0,01622X_2 + 0,00350X_3 + 0,00088236X_4 - 0,75409X_5 + 0,19742X_6$$

$$\vdots$$

$$\hat{Y}_{29} = 36,40380 + 0,38438X_1 - 0,01622X_2 + 0,00350X_3 + 0,00080685X_4 - 0,75409X_5 + 0,19742X_6$$

$$\hat{Y}_{30} = 36,40380 + 0,38438X_1 - 0,01622X_2 + 0,00350X_3 + 0,00088220X_4 - 0,75409X_5 + 0,19742X_6$$

2. Faktor-faktor yang mempengaruhi IPM setiap kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur, Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan tahun 2016 berdasarkan model MGWR yang terbentuk yaitu angka partisipasi sekolah (SMP) dan kepadatan penduduk.
3. Interpretasi model MGWR untuk kota Samarinda yaitu

$$\hat{Y}_8 = 36,40380 + 0,38438X_1 - 0,01622X_2 + 0,00350X_3 + 0,00147X_4 - 0,75409X_5 + 0,19742X_6$$

Setiap peningkatan angka partisipasi sekolah (SMP) sebesar 1% akan meningkatkan IPM Kota Samarinda sebesar 0,38438, dan setiap peningkatan kepadatan penduduk sebesar 1 jiwa/km^2 akan meningkatkan IPM Kota Samarinda sebesar 0,00147. Interpretasi model MGWR untuk Kota Palangkaraya yaitu

$$\hat{Y}_{20} = 36,40380 + 0,38438X_1 - 0,01622X_2 + 0,00350X_3 + 0,00088X_4 - 0,75409X_5 + 0,19742X_6$$

Setiap peningkatan angka partisipasi sekolah (SMP) sebesar 1% akan meningkatkan IPM Kota Palangkaraya sebesar 0,38438.

Daftar Pustaka

Badan Pusat Statistik. (2016). *Indeks Pembangunan Manusia 2016* (No. 07310.1702).

Chang, & Mei, L. (2005). *Geographically Weighted Regression Technique for Spatial Data Analysis*. Tiongkok: School of Science, Xi'an Jiaotong University.

Fotheringham, A. S., Brunsdon, C., & Charlton, M. (2002). *Geographically Weighted Regression: Analysis of Spatially Varying Relationship*. England: John Wiley & Sons.

Leung, Y., Chang, Mei, L., & Zhang, W. X. (2000). Statistical Tests for Spatial Nonstationarity Based on the Geographically Weighted Regression Model. *Environment and Planning A: Economi and Space, 32*(1), 9-32. doi: 10.1068/a3162.

Mirza, D.S. (2012). Pengaruh Kemiskinan, Pertumbuhan Ekonomi dan Belanja Modal Terhadap Indeks Pembangunan Manusia di Jawa Tengah Tahun 2006-2009. *Economics Development Analysis Journal, 1*(2), 1-15. doi: 10.15294/edaj.v1i2.474.

Rencher, A.C., & Schaalje, G. B. (2008). *Linear Models in Statistics*: *Second Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons.

Suyitno, Purhadi, Sutikno, & Irhamah. (2016). Parameter Estimation of Geographically Weighted Trivariate Weibull Regression Model. *Applied Mathematical Sciences, 10*(17-20), 861-878. http://dx.doi.org/10.12988/ams.2016.6129.

Wuryanti, I. F., Purnami, S. W., & Purhadi. (2013). Pemodelan Mixed Geographically Weighted Regression (MGWR) pada Angka Kematian Balita di Kabupaten Bojonegoro Tahun 2011.

Jurnal Sains dan Seni POMITS, *2*(1), 66-71. doi: 10.12962/j23373520.v2i1.3028.