

## Geographically Weighted Panel Regression Modelling of Human Development Index Data in East Kalimantan Province in 2017-2020

### Pemodelan Geographically Weighted Panel Regression pada Data Indeks Pembangunan Manusia di Provinsi Kalimantan Timur Tahun 2017-2020

Ni Made Shantia Ananda<sup>1\*</sup>, Suyitno<sup>2\*</sup>, Meiliyani Siringoringo<sup>3\*</sup>

*\*Program Studi S1 Statistika, Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Mulawarman*

**E-mail:** [nimadeshantiaananda@gmail.com](mailto:nimadeshantiaananda@gmail.com)<sup>1</sup>, [suyitno.stat.unmul@gmail.com](mailto:suyitno.stat.unmul@gmail.com)<sup>2</sup>,  
[meiliyanisiringoringo@fmipa.unmul.ac.id](mailto:meiliyanisiringoringo@fmipa.unmul.ac.id)<sup>3</sup>

Received: 31 October 2022; Accepted: 20 December 2022; Published: 5 January 2023

#### Abstract

Geographically Weighted Panel Regression (GWPR) model is a panel regression model applied on spatial data. This research applied Fixed Effect Model (FEM) on panel regression as the global model and GWPR as the local model for Human Development Index (HDI) regencies/municipalities in East Kalimantan Province data over the years 2017-2020. The aim of this research is to obtain the GWPR model of HDI data, as well as to acquire factors that influence it. The parameter of GWPR model was estimated on each observation location using the Weighted Least Square (WLS) method, namely Ordinary Least Square (OLS) with addition of spatial weighting. The spatial weighting on GWPR model was calculated using fixed bisquare, fixed tricube, adaptive bisquare and adaptive tricube. After the selection process, the optimum weighting function is adaptive tricube which provides a minimum Cross Validation (CV) value of 5.1419. Based on GWPR parameter testing, factors that affect HDI are local and diverse in each 10 regencies/municipalities in East Kalimantan Province. These factors are the labor force participation rate, number of health facilities, Gini ratio, population growth rate, open unemployment rate, poverty gap index and percentage of food expenditure. The coefficient of determination of the GWPR model obtains a value of 94.36% with the RMSE value of 0.1221.

**Keywords:** Adaptive Tricube, Fixed Effect Model, Geographically Weighted Panel Regression, Human Development Index.

#### Abstrak

Model *Geographically Weighted Panel Regression* (GWPR) merupakan model regresi panel yang diterapkan pada data spasial. Penelitian ini menerapkan *Fixed Effect Model* (FEM) pada regresi panel sebagai model global dan GWPR sebagai model lokal untuk data Indeks Pembangunan Manusia (IPM) kabupaten/kota di



Provinsi Kalimantan Timur tahun 2017-2020. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh model GWPR untuk data IPM, serta faktor-faktor yang mempengaruhinya. Parameter model GWPR diestimasi pada setiap lokasi pengamatan menggunakan metode *Weighted Least Square* (WLS) yaitu *Ordinary Least Square* (OLS) dengan penambahan pembobotan spasial. Pembobotan spasial pada model GWPR dihitung menggunakan fungsi pembobot *fixed bisquare*, *fixed tricube*, *adaptive bisquare* dan *adaptive tricube*. Setelah proses penyeleksian, fungsi pembobot optimum adalah *adaptive tricube* yang memberikan nilai *Cross Validation* (CV) minimum sebesar 5,1419. Berdasarkan pengujian parameter model GWPR, faktor-faktor yang mempengaruhi IPM bersifat lokal dan beragam di setiap 10 kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur. Faktor-faktor tersebut adalah tingkat partisipasi angkatan kerja, jumlah fasilitas kesehatan, *Gini ratio*, laju pertumbuhan penduduk, tingkat pengangguran terbuka, indeks kedalaman kemiskinan dan persentase pengeluaran per kapita kelompok makanan. Koefisien determinasi model GWPR sebesar 94,36% dengan nilai RMSE sebesar 0,1221.

**Kata kunci:** *Adaptive Tricube*, *Fixed Effect Model*, *Geographically Weighted Panel Regression*, Indeks Pembangunan Manusia.

## 1. PENDAHULUAN

Analisis regresi merupakan metode statistika yang bertujuan untuk mengetahui hubungan antara variabel terikat dengan satu atau lebih variabel bebas. Analisis regresi memiliki berbagai jenis model, salah satunya adalah model regresi linier klasik [18]. Parameter model regresi linier klasik ditaksir menggunakan pendekatan *Ordinary Least Square* (OLS), yaitu dengan meminimumkan jumlah kuadrat galat. Asumsi-asumsi regresi linier klasik yaitu variansi galat konstan (homoskedastisitas), nonautokorelasi galat dan galat berdistribusi normal dengan *mean* nol dan variansi konstan [7]. Regresi linier klasik banyak diterapkan di berbagai bidang, seperti bidang kesehatan, pendidikan, sosial dan ekonomi. Data-data di bidang sosial dan ekonomi umumnya mengalami fluktuasi yang signifikan dari waktu ke waktu, oleh sebab itu banyak ditemukan dalam bentuk data panel.

Data panel merupakan gabungan dari data penampang melintang dan data runtun waktu. Data panel dikumpulkan menurut urutan waktu dalam suatu rentang waktu tertentu pada sejumlah individu atau kategori [6]. Metode yang tepat untuk memodelkan data panel adalah regresi panel. Terdapat tiga model dalam regresi panel, yaitu *Common Effect Model* (CEM), *Random Effect Model* (REM) dan *Fixed Effect Model* (FEM). Data panel banyak ditemukan dalam bentuk data panel spasial. Data panel spasial merupakan gabungan antara data panel dan data spasial. Data spasial adalah data pengamatan yang dipengaruhi oleh aspek lokasi geografis. Pengaruh lokasi geografis pada data spasial akan berbeda-beda. Observasi yang saling berdekatan akan memiliki pengaruh lebih besar pada proses penaksiran parameter bila dibandingkan dengan observasi yang saling berjauhan [17]. Regresi panel tidak tepat untuk memodelkan data panel spasial dan pemodelan yang sesuai adalah *Geographically Weighted Panel Regression* (GWPR) [16].

Model GWPR merupakan bentuk lokal dari model regresi panel dengan mempertimbangkan aspek geografis di dalamnya. Seperti yang kita ketahui, model regresi global hanya dapat mencerminkan tren global dan mungkin mengabaikan beberapa variasi lokal (spasial) [4]. Parameter model GWPR diestimasi menggunakan pendekatan *Weighted Least Square* (WLS), yaitu metode *least square* dengan mempertimbangkan pembobot spasial pada setiap lokasi pengamatan [13]. Model GWPR pada penelitian ini diaplikasikan pada data Indeks Pembangunan Manusia (IPM) kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur tahun 2017-2020.

IPM merupakan indikator untuk mengukur keberhasilan upaya peningkatan kemampuan modal dasar manusia. IPM terdiri atas tiga komponen penyusun, yaitu dimensi kesehatan, dimensi pendidikan dan dimensi pengeluaran [2]. Data IPM merupakan data yang bersifat dinamis (mengalami perubahan dari waktu ke waktu) sehingga metode data panel cocok diterapkan sebagai

*study of dynamic adjustment* dari data IPM [22]. Data IPM juga termasuk ke dalam data spasial titik karena lokasi geografis suatu wilayah mempengaruhi nilai IPM di wilayah tersebut. Faktor-faktor yang mempengaruhi tinggi rendahnya nilai IPM di masing-masing wilayah juga diduga akan berbeda sesuai dengan karakteristik dari masing-masing wilayah.

Indonesia merupakan negara dengan tingkat pembangunan manusia yang cukup memadai. IPM Indonesia di tahun 2020 mencapai angka 71,94. Angka tersebut mengalami kenaikan sebesar 0,02 poin dari tahun 2019. Di tengah merebaknya pandemi COVID-19 di Indonesia pada awal tahun 2020, pertumbuhan IPM di tingkat nasional terus mengalami kenaikan meskipun dengan pergerakan yang cukup lambat [3]. Keadaan IPM di tingkat nasional tidak serta merta selaras dengan keadaan IPM di tingkat daerah. Sebagai contoh, Provinsi Kalimantan Timur menjadi salah satu provinsi yang mengalami penurunan nilai IPM pada tahun 2020. Penurunan angka IPM di tingkat provinsi turut tercermin pada tingkat kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur. Tahun 2020 menandai penurunan nilai IPM yang terjadi secara serentak di seluruh kabupaten/kota dengan kecepatan penurunan terbesar terjadi di Kabupaten Mahakam Ulu [3].

Salah satu upaya untuk meningkatkan IPM di Provinsi Kalimantan Timur secara Statistika adalah dengan mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh signifikan terhadap IPM melalui pemodelan GWPR. Berdasarkan penelitian terdahulu oleh Qur'ani [16], model GWPR memberikan hasil yang sangat baik yang dibuktikan dengan nilai koefisien determinasi model GWPR yang tinggi. Beberapa penelitian terdahulu mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi IPM dilakukan oleh Ningrum, Khairunnisa dan Huda [14] di mana tingkat kemiskinan dan tingkat pengangguran berpengaruh secara signifikan terhadap IPM. Penelitian lain oleh Melliana dan Zain [11] dengan hasil jumlah fasilitas kesehatan dan tingkat partisipasi angkatan kerja berpengaruh signifikan terhadap IPM. Rustariyuni [19] menyatakan bahwa *gini ratio* berpengaruh signifikan terhadap IPM. Hidayat, Hadi dan Anggraeni [8] dalam penelitiannya menyatakan bahwa persentase pengeluaran perkapita kelompok makanan berpengaruh signifikan terhadap IPM. Penelitian lain oleh Jasasila [10] menyatakan bahwa jumlah penduduk berpengaruh signifikan terhadap IPM.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh faktor-faktor yang mempengaruhi IPM kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur tahun 2017-2020 berdasarkan model GWPR. Batasan penelitian ini adalah penerapan FEM pada model GWPR. Penggunaan fungsi pembobot spasial terdiri atas *fixed bisquare*, *fixed tricube*, *adaptive bisquare* dan *adaptive tricube*. Pemilihan *bandwidth* optimum didasari oleh kriteria *Cross Validation* (CV).

Sistematika penelitian ini adalah penyajian pendahuluan pada sesi pertama, kemudian dilanjutkan dengan tinjauan pustaka, metodologi penelitian, hasil dan pembahasan, serta diakhiri dengan kesimpulan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Model Regresi Panel

Data panel merupakan sebuah kombinasi antara data penampang melintang dengan data runtun waktu. Model regresi pada data panel terdiri atas *Common Effect Model* (CEM), *Random Effect Model* (REM) dan *Fixed Effect Model* (FEM). Model CEM sama seperti regresi linier klasik dengan penaksiran parameter menggunakan metode OLS. Penaksiran parameter model REM dapat dilakukan dengan metode *Generalized Least Square* (GLS). Model FEM merupakan model regresi linier yang mengasumsikan bahwa model setiap individu memiliki intersep yang berbeda [9]. Bentuk umum dari model FEM ditunjukkan pada persamaan (2.1) berikut

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_1 x_{it1} + \beta_2 x_{it2} + \dots + \beta_p x_{itp} + \varepsilon_{it}; \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad t = 1, 2, \dots, T. \quad (2.1)$$

Penaksiran parameter model FEM pada persamaan (2.1) dapat dilakukan dengan mentransformasikan  $\beta_0$  melalui metode *within estimator*. *Within estimator* dibentuk dengan mengurangkan setiap data aktual penampang melintang (variabel bebas dan variabel terikat) dengan

**JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI**  
**Ni Made Shantia Ananda, Suyitno, Meiliyani Siringoringo**

rata-rata runtun waktu yang bersesuaian dengan data aktual penampang melintang [23]. Model rata-rata berdasarkan persamaan (2.1) untuk setiap  $t = 1, 2, \dots, T$  adalah

$$\bar{y}_i = \beta_{0_i} + \beta_1 \bar{x}_{i1} + \beta_2 \bar{x}_{i2} + \dots + \beta_p \bar{x}_{ip} + \varepsilon_i; \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (2.2)$$

di mana

$$\bar{y}_i = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T y_{it}, \quad \bar{x}_{ik} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T x_{itk}, \quad \bar{\varepsilon}_i = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \varepsilon_{it}; \quad k = 1, 2, \dots, p. \quad (2.3)$$

Persamaan (2.1) dikurangi dengan persamaan (2.3) maka diperoleh model FEM dengan *within estimator*, yaitu

$$(y_{it} - \bar{y}_i) = \beta_1 (x_{it1} - \bar{x}_{i1}) + \beta_2 (x_{it2} - \bar{x}_{i2}) + \dots + \beta_p (x_{itk} - \bar{x}_{ik}) + (\varepsilon_{it} - \bar{\varepsilon}_i), \quad (2.4)$$

atau

$$y_{it}^* = \beta_1 x_{it1}^* + \beta_2 x_{it2}^* + \dots + \beta_p x_{itp}^* + \varepsilon_{it}^*; \quad t = 1, 2, \dots, T. \quad (2.5)$$

$y_{it}^*$  adalah nilai taksiran model FEM,  $\beta_k$  adalah koefisien regresi di mana  $k = 1, 2, \dots, p$ ,  $x_{itp}^*$  menyatakan data *demean* variabel bebas dan  $\varepsilon_{it}^*$  menyatakan galat model FEM. Model FEM pada persamaan (2.5) dapat dinyatakan ke dalam notasi matriks, yaitu

$$\mathbf{y}_F^* = \mathbf{X}_F^* \boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}_F^*, \quad (2.6)$$

dengan  $\boldsymbol{\varepsilon}_F^*$  adalah vektor galat. Vektor galat pada persamaan (2.6) dapat dinyatakan dalam

$$\boldsymbol{\varepsilon}_F^* = \mathbf{y}_F^* - \mathbf{X}_F^* \boldsymbol{\beta}, \quad (2.7)$$

Penaksiran  $\boldsymbol{\beta}$  model FEM pada persamaan (2.6) menggunakan metode OLS [11], yaitu dengan meminimumkan jumlah kuadrat galat pada persamaan (2.7), dan nilai  $\boldsymbol{\beta}$  yang meminimumkan jumlah kuadrat galat adalah

$$\hat{\boldsymbol{\beta}} = (\mathbf{X}_F^{*T} \mathbf{X}_F^*)^{-1} \mathbf{X}_F^{*T} \mathbf{y}_F^* \quad (2.8)$$

## 2.2 Pengujian Signifikansi Parameter Model FEM

Pengujian signifikansi parameter model FEM dilakukan secara simultan dan parsial. Pengujian signifikansi parameter model FEM secara simultan dilakukan dengan tujuan untuk mengevaluasi pengaruh variabel bebas secara simultan terhadap variabel terikat. Hipotesis uji simultan adalah sebagai berikut.

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p = 0$$

(Secara simultan variabel bebas tidak berpengaruh terhadap variabel terikat).

$$H_1 : \text{Minimal terdapat satu } \beta_k \neq 0, \quad k = 1, 2, \dots, p$$

(Minimal terdapat satu diantara variabel bebas berpengaruh terhadap variabel terikat).

Statistik uji pengujian signifikansi parameter model FEM secara simultan adalah

$$F_1 = \frac{KTR_p}{KTG_p}. \quad (2.9)$$

$KTR_p$  adalah kuadrat tengah regresi model FEM dan  $KTG_p$  adalah kuadrat tengah galat model FEM. Statistik uji  $F_1$  berdistribusi  $F_{(p; nT-n-p)}$  dengan daerah kritis menolak  $H_0$  pada taraf signifikansi  $\alpha$  jika  $F_1 > F_{(\alpha; p; nT-n-p)}$  atau menolak  $H_0$  jika  $p_{value_1} < \alpha$ .

Pengujian parameter model FEM secara parsial bertujuan untuk mengkonfirmasi apakah variabel bebas secara individu memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel terikat. Hipotesis untuk uji parsial adalah

$$H_0 : \beta_k = 0, k = 1, 2, \dots, p$$

(Tidak terdapat pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat).

$$H_1 : \beta_k \neq 0, k = 1, 2, \dots, p$$

(Terdapat pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat).

Statistik uji pengujian signifikansi parameter model FEM secara parsial adalah

$$T_1 = \frac{\hat{\beta}_k}{SE(\hat{\beta}_k)}, \quad (2.10)$$

dengan  $SE(\hat{\beta}_k)$  adalah simpangan baku dari penaksir  $\hat{\beta}_k$ , yakni

$$SE(\hat{\beta}_k) = s\sqrt{g_{kk}} \quad (2.11)$$

$$s = \frac{JKG_p}{nT - p}, \quad g_{kk} = \text{diag} [g_{11} \quad g_{22} \quad \dots \quad g_{pp}]. \quad (2.12)$$

$JKG_p$  pada persamaan (2.12) adalah jumlah kuadrat galat model FEM dan  $g_{kk}$  adalah elemen matriks  $(\mathbf{X}_F^{*T} \mathbf{X}_F^*)^{-1}$ . Daerah kritis dari pengujian parsial yaitu menolak  $H_0$  pada taraf signifikansi  $\alpha$  jika  $|T_1| \geq t_{\left(\frac{\alpha}{2}; nT-p\right)}$  atau menolak  $H_0$  jika  $p_{value_2} < \alpha$  [20].

### 2.3 Pendeteksian Multikolinieritas

Multikolinieritas adalah suatu keadaan di mana terjadi hubungan linier antar variabel bebas dalam suatu model regresi [7]. Metode yang umum digunakan untuk mendeteksi multikolinieritas adalah dengan melihat nilai *Variance Inflation Factor* (VIF). Multikolinieritas terjadi apabila nilai VIF lebih besar dari 10. Nilai VIF dapat dihitung dengan

$$VIF_k = \frac{1}{1 - R_k^2}, \quad (2.13)$$

di mana  $R_k^2$  adalah koefisien determinasi model regresi variabel bebas  $X_k$  terhadap variabel bebas lainnya [20].

### 2.4 Pengujian Asumsi Homoskedastisitas

Model regresi panel mengasumsikan variansi dari galat harus konstan. Variansi galat yang tidak konstan akan menyebabkan penaksiran parameter model menjadi tidak efisien dan kesimpulan yang diperoleh tidak mewakili keadaan yang sebenarnya di lapangan. Pengujian homoskedastisitas pada model regresi panel dapat dilakukan menggunakan Uji *Glejser* dengan hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \sigma_{1,1}^2 = \sigma_{2,1}^2 = \dots = \sigma_{n,T}^2 = \sigma^2$$

(Variansi galat bersifat konstan).

$$H_1 : \text{Minimal ada satu } \sigma_{i,t}^2 \neq \sigma^2; i = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, T$$

(Variansi galat tidak bersifat konstan).

Statistik uji Glejser ditunjukkan pada persamaan (2.14) berikut

**JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI**  
**Ni Made Shantia Ananda, Suyitno, Meiliyani Siringoringo**

$$F_2 = \frac{\left( \hat{\boldsymbol{\phi}}^T \mathbf{X}_F^{*T} \mathbf{e}_F^* - n(\bar{e}^*)^2 \right) / p}{\left( \mathbf{e}_F^{*T} \mathbf{e}_F^* - \hat{\boldsymbol{\phi}}^T \mathbf{X}_F^{*T} \mathbf{e}_F^* \right) / (nT - n - p)}. \quad (2.14)$$

$\hat{\boldsymbol{\phi}}$  adalah vektor penaksir parameter dan  $\mathbf{e}_F^*$  adalah vektor galat. Statistik uji  $F_2$  mengikuti distribusi  $F_{(p; nT-n-p)}$  dengan  $n$  adalah banyaknya lokasi pengamatan,  $T$  adalah banyaknya waktu pengamatan dan  $p$  adalah banyaknya variabel bebas. Daerah kritis dari pengujian ini adalah menolak  $H_0$  jika  $F_2 > F_{\alpha; p; (nT-n-p)}$  atau menolak  $H_0$  jika  $p_{value_3} < \alpha$  [15].

### 2.5 Fungsi Pembobot Spasial

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk menghitung pembobot spasial, diantaranya adalah menggunakan fungsi *kernel* [24]. Fungsi *kernel* dapat dibedakan menjadi fungsi *kernel fixed* dan fungsi *kernel adaptive*. Pembobot spasial yang dihitung menggunakan fungsi *kernel fixed* menghasilkan nilai *bandwidth* yang konstan untuk setiap lokasi pengamatan. Fungsi pembobot spasial *kernel fixed* terbagi atas fungsi *kernel fixed gaussian*, *fixed bisquare* dan *fixed tricube*. Pada penelitian ini, fungsi pembobot *kernel fixed* yang digunakan adalah *fixed bisquare* dan *fixed tricube*. Pembobot spasial yang dihitung menggunakan fungsi *fixed bisquare* dapat dihitung dengan persamaan (2.15) berikut

$$w_{ij} = \begin{cases} \left( 1 - \left( \frac{d_{ij}}{h} \right)^2 \right)^2, & \text{jika } d_{ij} \leq h \\ 0, & \text{untuk } d_{ij} \text{ yang lain} \end{cases}. \quad (2.15)$$

Pembobot spasial yang dihitung menggunakan fungsi *fixed tricube* dapat dihitung dengan persamaan (2.16) berikut

$$w_{ij} = \begin{cases} \left( 1 - \left( \frac{d_{ij}}{h} \right)^3 \right)^3, & \text{jika } d_{ij} \leq h \\ 0, & \text{untuk } d_{ij} \text{ yang lain} \end{cases}. \quad (2.16)$$

Pembobot spasial yang dihitung menggunakan fungsi *kernel adaptive* menghasilkan nilai *bandwidth* yang berbeda-beda untuk setiap lokasi pengamatan. Fungsi pembobot spasial *kernel adaptive* terbagi atas fungsi *kernel adaptive gaussian*, *adaptive bisquare* dan *adaptive tricube*. Pada penelitian ini, fungsi pembobot *kernel adaptive* yang digunakan adalah *adaptive bisquare* dan *adaptive tricube*. Pembobot spasial yang dihitung menggunakan fungsi *adaptive bisquare* dapat dihitung dengan persamaan (2.17) berikut

$$w_{ij} = \begin{cases} \left( 1 - \left( \frac{d_{ij}}{h_i} \right)^2 \right)^2, & \text{jika } d_{ij} \leq h_i \\ 0, & \text{untuk } d_{ij} \text{ yang lain} \end{cases}. \quad (2.17)$$

Pembobot spasial yang dihitung menggunakan fungsi *adaptive tricube* dapat dihitung dengan persamaan (2.18) berikut

**JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI**  
**Ni Made Shantia Ananda, Suyitno, Meiliyani Siringoringo**

$$w_{ij} = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{d_{ij}}{h_i}\right)^3\right)^3, & \text{jika } d_{ij} \leq h_i \\ 0 & \text{, untuk } d_{ij} \text{ yang lain} \end{cases} \quad (2.18)$$

di mana  $d_{ij}$  adalah jarak antara lokasi  $i$  dan lokasi  $j$  yang diperoleh dari jarak *euclidean* yang dapat dihitung menggunakan persamaan (2.19)

$$d_{ij}^2 = (u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2, \quad (2.19)$$

sementara  $h$  adalah parameter non negatif yang dikenal sebagai *bandwidth* atau parameter penghalus.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan *bandwidth* optimum adalah menggunakan pendekatan *Cross Validation* (CV). Nilai CV paling minimum akan menghasilkan *bandwidth* yang optimum. Nilai CV dihitung menggunakan persamaan berikut

$$CV = \sum_{i=1}^n [y_i - \hat{y}_{\neq i}(h_i)]^2. \quad (2.20)$$

$\hat{y}_{\neq i}(h_i)$  pada persamaan (2.20) adalah nilai taksiran untuk  $y_i$  di mana data pengamatan pada lokasi ke- $i$  tidak diikuti pada penaksiran parameter model ke- $i$ . Proses meminimumkan CV dalam memperoleh *bandwidth* yang optimum dapat dilakukan menggunakan teknik *Golden Section Search* [5].

## 2.6 Model Geographically Weighted Panel Regression (GWPR)

Model *Geographically Weighted Panel Regression* (GWPR) merupakan model regresi lokal dari model FEM *within estimator*, dengan pengulangan data pada setiap lokasi pengamatan, pada waktu yang berbeda dan merupakan data spasial. Berdasarkan model FEM, maka model GWPR pada lokasi pengamatan ke- $i$  dan waktu ke- $t$  ditunjukkan pada persamaan (2.21) berikut.

$$y_{it}^* = \beta_1(u_i, v_i)x_{it1}^* + \beta_2(u_i, v_i)x_{it2}^* + \dots + \beta_p(u_i, v_i)x_{itp}^* + \varepsilon_{it}^*; \quad (2.21)$$

$$i = 1, 2, \dots, n; \quad t = 1, 2, \dots, T,$$

Penaksiran parameter model GWPR dilakukan menggunakan pendekatan WLS, yaitu model OLS dengan memberi pembobot yang berbeda pada setiap lokasi pengamatan. Penaksir parameter model GWPR adalah

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = (\mathbf{X}^{*T} \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X}^*)^{-1} \mathbf{X}^{*T} \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{y}^*. \quad (2.22)$$

Nilai prediksi dari  $\mathbf{y}_{it}^*$  pada lokasi pengamatan  $(u_i, v_i)$  dapat diperoleh dengan

$$\hat{y}_i^* = \mathbf{X}_{it}^{*T} \hat{\beta}(u_i, v_i) = \mathbf{X}_{it}^{*T} [\mathbf{X}^{*T} \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X}^*]^{-1} \mathbf{X}^{*T} \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{y}^*. \quad (2.23)$$

## 2.7 Pengujian Kesesuaian Model GWPR

Pengujian kesesuaian model GWPR dengan model regresi panel dilakukan dengan hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \beta_k(u_i, v_i) = \beta_k, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots, p$$

(Tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara model regresi panel dengan model GWPR)

$$H_1 : \text{Minimal terdapat satu } \beta_k(u_i, v_i) \neq \beta_k$$

(Terdapat perbedaan yang signifikan antara model regresi panel dengan model GWPR)

Statistik uji yang digunakan adalah  $F_3$  yang diberikan oleh persamaan (2.24) berikut.

$$F_3 = \frac{JKG_G(H_0)/db_1}{JKG_G(H_1)/db_2}. \quad (2.24)$$

$JKG_G(H_0)$  adalah jumlah kuadrat galat di bawah  $H_0$  (berdasarkan model regresi panel FEM) dan  $JKG_G(H_1)$  adalah jumlah kuadrat galat di bawah  $H_1$  (berdasarkan model GWPR). Statistik uji  $F_3$  mengikuti distribusi  $F_{db_1;db_2}$  dengan daerah kritis menolak  $H_0$  pada taraf signifikansi  $\alpha$  jika  $F_3 > F_{\alpha;db_1;db_2}$  di mana  $db_1 = (nT - p - 1)$  dan  $db_2 = \delta_1^2/\delta_2$ , di mana nilai dari  $\delta_1 = tr\left(\left(\mathbf{I} - \mathbf{L}^*\right)^T \left(\mathbf{I} - \mathbf{L}^*\right)\right)$  dan  $\delta_2 = tr\left(\left(\mathbf{I} - \mathbf{L}^*\right)^T \left(\mathbf{I} - \mathbf{L}^*\right)\right)^2$  atau  $H_0$  ditolak jika  $p_{value_4} < \alpha$ .  $\mathbf{I}$  adalah matriks identitas berukuran  $nT \times nT$  dan  $\mathbf{L}$  adalah matriks berukuran  $nT \times nT$  [12].

## 2.8 Pengujian Signifikansi Parameter Model GWPR

Pengujian signifikansi parameter model GWPR secara parsial bertujuan untuk mengidentifikasi variabel bebas  $X_k$ , dengan  $k = 1, 2, \dots, p$  yang berpengaruh pada lokasi ke- $i$ , di mana  $i = 1, 2, \dots, n$  [21]. Hipotesis pengujian parameter parsial model GWPR adalah sebagai berikut.

$$H_0 : \beta_k(u_i, v_i) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n ; k = 1, 2, \dots, p$$

(Tidak terdapat pengaruh variabel bebas ke- $k$  pada lokasi pengamatan ke- $i$ ).

$$H_1 : \beta_k(u_i, v_i) \neq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n ; k = 1, 2, \dots, p$$

(Terdapat pengaruh variabel bebas ke- $k$  pada lokasi pengamatan ke- $i$ ).

Statistik uji pengujian parsial diberikan oleh persamaan (2.25) berikut.

$$T_2 = \frac{\hat{\beta}_k(u_i, v_i)}{\hat{\sigma} \sqrt{c_{kk}}}. \quad (2.25)$$

Statistik uji  $T_2$  akan mengikuti distribusi  $t$  dengan derajat bebas  $\delta_1^2/\delta_2$ . Nilai dari  $\delta_1 = tr\left(\left(\mathbf{I} - \mathbf{L}^*\right)^T \left(\mathbf{I} - \mathbf{L}^*\right)\right)$  dan  $\delta_2 = tr\left(\left(\mathbf{I} - \mathbf{L}^*\right)^T \left(\mathbf{I} - \mathbf{L}^*\right)\right)^2$ . Daerah kritis menolak  $H_0$  pada taraf signifikansi  $\alpha$  jika  $|T_2| > t_{\alpha/2; \delta_1^2/\delta_2}$  atau menolak  $H_0$  jika  $p_{value_5} < \alpha$  [12].

## 2.9 Ukuran Keباikan Model

Ukuran kebaikan model, baik model FEM dan model GWPR akan dihitung menggunakan koefisien determinasi dan *Root Mean Square Error* (RMSE). Koefisien determinasi ditunjukkan pada persamaan (2.26) berikut

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T (\hat{y}_{it}^* - \bar{y}^*)^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T (y_{it}^* - \bar{y}^*)^2}. \quad (2.26)$$

Rentang nilai koefisien determinasi berada pada rentang  $0 \leq R \leq 1$ . Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai RMSE adalah

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{nT} \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T (y_{it} - \hat{y}_{it})^2}, \quad (2.27)$$

di mana  $n$  adalah banyaknya lokasi pengamatan dan  $T$  adalah banyaknya waktu pengamatan [15].

## 2.10 Indeks Pembangunan Manusia (IPM)

Indeks Pembangunan Manusia (IPM) merupakan suatu ukuran yang digunakan untuk mengukur seberapa besar dampak yang ditimbulkan dari upaya peningkatan kemampuan modal dasar manusia. Keberhasilan pembangunan diukur dengan ukuran besar kecilnya angka pendidikan, kesehatan dan daya beli masyarakat [1]. IPM dapat dihitung dengan

$$IPM = \sqrt{I_{kesehatan} \times I_{pendidikan} \times I_{pengeluaran}} \times 100. \quad (2.28)$$

Nilai IPM berkisar antara 0-100. Capaian IPM di suatu daerah dapat diklasifikasikan ke dalam 4 kategori [3], yaitu

**Tabel 2.1** Kategori IPM

Kategori	Nilai IPM
Rendah	$IPM < 60$
Sedang	$60 \leq IPM < 70$
Tinggi	$70 \leq IPM < 80$
Sangat Tinggi	$IPM \geq 80$

## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Data dan Variabel Penelitian

Data penelitian merupakan data sekunder yang diperoleh dari halaman resmi Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Kalimantan Timur dan *Google Maps*. Populasi penelitian ini adalah 10 kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur. Sampel penelitian ini adalah 10 kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur. Teknik *sampling* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *total sampling*. Ukuran data penelitian sebesar 40 data yang terdiri atas 10 kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur per unit runtun waktu ( $t = 1, 2, 3, 4$ ).

Variabel penelitian terdiri atas satu variabel terikat dan 7 variabel bebas dengan keterangan disajikan pada Tabel 3.1.

**JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI**  
**Ni Made Shantia Ananda, Suyitno, Meiliyani Siringoringo**

**Tabel 3.1** Variabel Penelitian

Notasi	Nama Variabel	Satuan
$Y$	Indeks Pembangunan Manusia	-
$X_1$	Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja	Persen (%)
$X_2$	Jumlah Fasilitas Kesehatan	Unit
$X_3$	<i>Gini Ratio</i>	-
$X_4$	Laju Pertumbuhan Penduduk	Persen (%)
$X_5$	Tingkat Pengangguran Terbuka	Persen (%)
$X_6$	Indeks Kedalaman Kemiskinan	-
$X_7$	Persentase Pengeluaran per Kapita Kelompok Makanan	Persen (%)

**3.2 Tahapan Analisis Data**

Teknik analisis data penelitian adalah GWPR dengan bantuan *software Octave* dan *R*. Tahapan analisis data terdiri atas:

1. Melakukan analisis statistik deskriptif data variabel penelitian berupa ukuran data.
2. Mendeteksi multikolinieritas variabel bebas menggunakan kriteria nilai VIF pada persamaan (2.13).
3. Mentransformasikan data aktual menjadi data *demean*.
4. Melakukan pemodelan FEM dengan bantuan *Software R*.
5. Melakukan pemodelan GWPR dengan bantuan *Software Octave*.

**4. HASIL DAN PEMBAHASAN****4.1 Deskripsi Data**

Deskripsi data dituangkan dalam bentuk ukuran data penelitian yang terdiri atas rata-rata, nilai maksimum, nilai minimum dan simpangan baku yang disajikan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Ukuran Data Variabel Penelitian

Variabel	$t$	Rata-rata	Max	Min	Simpangan Baku
$Y$	2017	73,42	79,47	66,09	4,53
	2018	73,94	79,93	66,67	4,53
	2019	74,57	80,20	67,58	4,30
	2020	74,32	80,11	67,09	4,43
$X_1$	2017	65,29	77,12	61,00	4,55
	2018	67,19	79,02	60,82	5,13
	2019	66,65	69,91	64,33	1,79
	2020	67,98	76,22	61,98	4,09
$X_2$	2017	472,2	1522	58	432,24
	2018	478,9	1522	56	428,95
	2019	438,6	1342	61	383,06
	2020	489,4	1627	61	461,19

**Tabel 4.1** Ukuran Data Variabel Penelitian (Lanjutan)

Variabel	$t$	Rata-rata	Max	Min	Simpangan
----------	-----	-----------	-----	-----	-----------

**JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI**  
**Ni Made Shantia Ananda, Suyitno, Meiliyani Siringoringo**

					<b>Baku</b>
$X_3$	2017	0,30	0,33	0,27	0,03
	2018	0,32	0,38	0,30	0,03
	2019	0,32	0,35	0,26	0,03
	2020	0,31	0,41	0,26	0,04
$X_4$	2017	1,95	4,16	0,47	1,06
	2018	1,82	4,09	0,16	1,14
	2019	1,74	3,99	0,11	1,13
	2020	1,72	3,96	0,17	1,09
$X_5$	2017	7,10	12,44	4,61	2,62
	2018	5,99	9,41	4,03	1,87
	2019	5,70	9,02	3,56	1,52
	2020	6,22	9,46	3,49	2,01
$X_6$	2017	0,94	1,50	0,24	0,39
	2018	0,90	1,49	0,33	0,38
	2019	1,07	1,94	0,23	0,62
	2020	0,99	2,02	0,38	0,48
$X_7$	2017	48,87	55,72	41,71	5,33
	2018	46,62	51,86	40,10	4,24
	2019	47,08	55,15	40,94	4,52
	2020	47,08	55,40	36,51	5,73

Berdasarkan Tabel 4.1, diketahui bahwa rata-rata IPM Provinsi Kalimantan Timur tahun 2017 adalah 73,42 dengan simpangan baku sebesar 4,53. IPM tertinggi terjadi di Kota Bontang sebesar 79,47 dan IPM terendah terjadi di Kabupaten Mahakam Ulu sebesar 66,09. Rata-rata IPM Provinsi Kalimantan Timur tahun 2018 mengalami kenaikan dari tahun 2017 menjadi 73,94 dengan simpangan baku sebesar 4,53. IPM tertinggi terjadi di Kota Samarinda sebesar 79,93 dan IPM terendah terjadi di Kabupaten Mahakam Ulu sebesar 66,67. Rata-rata IPM Provinsi Kalimantan Timur tahun 2019 mengalami kenaikan dari tahun 2018 menjadi 74,57 dengan simpangan baku sebesar 4,30. IPM tertinggi terjadi di Kota Samarinda sebesar 80,20 dan IPM terendah terjadi di Kabupaten Mahakam Ulu sebesar 67,58. Rata-rata IPM Provinsi Kalimantan Timur tahun 2020 mengalami penurunan dari tahun 2019 menjadi 74,32 dengan simpangan baku sebesar 4,43. IPM tertinggi terjadi di Kota Samarinda sebesar 80,11 dan IPM terendah terjadi di Kabupaten Mahakam Ulu sebesar 67,09. Ukuran data variabel penelitian lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.1.

#### 4.2 Pendeteksian Multikolinieritas

Pendeteksian multikolinieritas menggunakan kriteria nilai VIF berdasarkan persamaan (2.13) disajikan pada Tabel 4.2.

**JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI**  
**Ni Made Shantia Ananda, Suyitno, Meiliyani Siringoringo**

**Tabel 4.2** Nilai VIF Variabel Bebas

Variabel	VIF <sub>k</sub>
$X_1$	1,5997
$X_2$	1,7442
$X_3$	2,7801
$X_4$	1,3196
$X_5$	1,7495
$X_6$	2,1077
$X_7$	5,3912

Berdasarkan Tabel 4.2, dapat dilihat bahwa nilai VIF dari setiap variabel bebas kurang dari 10 yang berarti tidak terdapat multikolinieritas antar variabel bebas pada model regresi, dengan demikian pemodelan dapat dilanjutkan dengan 7 variabel bebas.

### 4.3 Pemodelan FEM

Berdasarkan model umum FEM pada persamaan (2.5), model umum FEM untuk data IPM dengan 7 variabel bebas adalah

$$y_{it}^* = \beta_1 x_{it1}^* + \beta_2 x_{it2}^* + \beta_3 x_{it3}^* + \beta_4 x_{it4}^* + \beta_5 x_{it5}^* + \beta_6 x_{it6}^* + \beta_7 x_{it7}^* + \varepsilon_{it}^* ; \quad (4.1)$$

$$i = 1, 2, \dots, 10 ; t = 1, 2, 3, 4 .$$

Penaksiran parameter FEM pada persamaan (4.1) menggunakan metode OLS berdasarkan persamaan (2.8). Hasil penaksiran parameter FEM pada persamaan (4.1) disajikan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Taksiran Parameter Model FEM

Parameter	Nilai Taksiran
$\beta_1$	0,0345
$\beta_2$	-0,0031
$\beta_3$	-11,7880
$\beta_4$	-3,6279
$\beta_5$	0,1222
$\beta_6$	0,9584
$\beta_7$	-0,1118

Berdasarkan nilai taksiran parameter pada Tabel 4.3, model FEM yang terbentuk adalah

$$\hat{y}_{it}^* = 0,0345x_{it1}^* - 0,0031x_{it2}^* - 11,7880x_{it3}^* - 3,6279x_{it4}^* + 0,1222x_{it5}^* + 0,9584x_{it6}^* - 0,1118x_{it7}^* ; i = 1, 2, \dots, 10 ; t = 1, 2, 3, 4 \quad (4.2)$$

Untuk mengetahui kelayakan model, dilakukan pengujian signifikansi parameter secara simultan dengan hipotesis sebagai berikut

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = \beta_7 = 0$$

(Secara simultan, variabel bebas tidak berpengaruh terhadap IPM kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur).

$$H_1 : \text{Minimal terdapat satu } \beta_k \neq 0, k = 1, 2, \dots, 7$$

(Minimal terdapat satu dari variabel bebas berpengaruh terhadap IPM kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur).

Statistik uji adalah  $F_1$  yang diberikan oleh persamaan (2.9). Nilai statistik uji  $F_1$  dan  $p_{value_1}$  disajikan pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Pengujian Simultan Model FEM

$F_1$	$F_{(0,05;7;23)}$	$p_{value_1}$	Keputusan
11,1489	2,4422	0,000	$H_0$ ditolak

Berdasarkan Tabel 4.2, kesimpulan dari pengujian simultan adalah minimal terdapat satu dari variabel tingkat partisipasi angkatan kerja, jumlah fasilitas kesehatan, *Gini ratio*, laju pertumbuhan penduduk, tingkat pengangguran terbuka, indeks kedalaman kemiskinan dan persentase pengeluaran per kapita kelompok makanan yang berpengaruh terhadap IPM kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur.

Selanjutnya dilakukan pengujian signifikansi parameter FEM secara parsial.

$$H_0 : \beta_k = 0$$

(Tidak terdapat pengaruh variabel bebas  $X_k$  terhadap IPM kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur).

$$H_1 : \beta_k \neq 0$$

(Terdapat pengaruh variabel bebas  $X_k$  terhadap IPM kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur).

Statistik uji adalah  $T_1$  diberikan oleh persamaan (2.10), di mana nilai  $|T_1|$  dan  $p_{value_2}$  disajikan pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Pengujian Parsial Model FEM

Parameter	$ T_1 $	$p_{value_2}$	Keputusan
$\beta_1$	1,0614	0,2995	$H_0$ gagal ditolak
$\beta_2$	2,0801	0,0489	$H_0$ ditolak
$\beta_3$	3,4743	0,0021	$H_0$ ditolak
$\beta_4$	5,8342	0,0000	$H_0$ ditolak
$\beta_5$	1,8347	0,0795	$H_0$ gagal ditolak
$\beta_6$	4,3724	0,0002	$H_0$ ditolak
$\beta_7$	2,6657	0,0138	$H_0$ ditolak

Berdasarkan Tabel 4.5, diperoleh hasil variabel jumlah fasilitas kesehatan, *Gini ratio*, laju pertumbuhan penduduk, indeks kedalaman kemiskinan dan persentase pengeluaran per kapita

kelompok makanan secara parsial berpengaruh terhadap IPM kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur yang dibuktikan oleh nilai statistik uji  $|T_1|$  dari masing-masing variabel tersebut lebih dari nilai  $t_{(0,025;33)} = 2,0345$  atau nilai  $p_{value_2} < \alpha = 0,05$ . Berdasarkan Tabel 4.5 juga diperoleh hasil variabel tingkat partisipasi angkatan kerja dan tingkat pengangguran terbuka secara parsial tidak berpengaruh terhadap IPM kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur yang dibuktikan oleh nilai statistik uji  $|T_1|$  dari masing-masing variabel tersebut lebih dari nilai  $t_{(0,025;33)} = 2,0345$  atau nilai  $p_{value_2} > \alpha = 0,05$ .

#### 4.4 Pengujian Asumsi Homoskedastisitas Model FEM

Pengujian asumsi yang dilakukan pada FEM adalah homoskedastisitas sebagai syarat untuk melanjutkan ke pemodelan spasial. Pengujian homoskedastisitas menggunakan uji Glejser dengan hipotesis sebagai berikut

$$H_0 : \sigma_{1,1}^2 = \sigma_{2,1}^2 = \dots = \sigma_{10,4}^2 = \sigma^2$$

(Variansi galat bersifat konstan di seluruh lokasi pengamatan).

$$H_1 : \text{Minimal terdapat satu } \sigma_{i,t}^2 \neq \sigma^2 ; i = 1, 2, \dots, 10 ; t = 1, 2, 3, 4$$

(Variansi galat tidak bersifat konstan di seluruh lokasi pengamatan).

Statistik uji yang digunakan adalah  $F_2$  yang diberikan oleh persamaan (2.14), di mana  $F_2 \sim F_{(0,05;7;23)}$ . Nilai statistik uji  $F_2$  dan  $p_{value_3}$  disajikan pada Tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Pengujian Glejser Model FEM

$F_2$	$F_{(0,05;7;23)}$	$p_{value_3}$	Keputusan
2,5199	2,4422	0,0444	$H_0$ ditolak

Berdasarkan Tabel 4.6, dapat disimpulkan bahwa variansi galat tidak bersifat konstan di seluruh lokasi pengamatan. Pemodelan FEM tidak layak dikarenakan asumsi homoskedastisitas terlanggar, oleh sebab itu dilakukan pemodelan menggunakan GWPR.

#### 4.5 Pemodelan GWPR

Berdasarkan persamaan (2.21), model umum GWPR untuk IPM dengan 7 variabel bebas pada lokasi pengamatan ke- $i$  adalah

$$y_{it}^* = \beta_1(u_i, v_i)x_{it1}^* + \beta_2(u_i, v_i)x_{it2}^* + \dots + \beta_7(u_i, v_i)x_{it7}^* + \varepsilon_{it}^* ; \quad (4.3)$$

$$i = 1, 2, \dots, 10 ; t = 1, 2, 3, 4$$

Proses penaksiran parameter diawali dengan perhitungan jarak *euclidean* berdasarkan persamaan (2.19). Penentuan *bandwidth* optimum menggunakan kriteria CV berdasarkan persamaan (2.20) dan diperoleh nilai *bandwidth* optimum dengan fungsi pembobot spasial terbaik adalah *adaptive tricube*. Model GWPR yang terbentuk menyesuaikan dengan banyaknya kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur, yaitu 10 model. Salah satu taksiran model GWPR pada Kota Balikpapan ( $i = 1$ ) adalah

$$\hat{y}_{1t}^* = 0,0053x_{1t1}^* + 0,0033x_{1t2}^* + 0,0270x_{1t3}^* - 0,0148x_{1t4}^* - 0,4505x_{1t5}^* + 0,3312x_{1t6}^* + 0,3236x_{1t7}^* ; t = 1, 2, 3, 4 \quad (4.4)$$

#### 4.6 Pengujian Kesesuaian Model GWPR

Pengujian kesesuaian (*goodness of fit*) dari model GWPR dilakukan dengan hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \beta_k(u_i, v_i) = \beta_k, k = 1, 2, \dots, 7 ; i = 1, 2, \dots, 10$$

(Tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara model FEM dengan model GWPR).

$$H_1 : \text{Minimal terdapat satu } \beta_k(u_i, v_i) \neq \beta_k, k = 1, 2, \dots, 7 ; i = 1, 2, \dots, 10$$

(Terdapat perbedaan yang signifikan antara model FEM dengan model GWPR).

Statistik uji adalah  $F_3$  diberikan oleh persamaan (2.24), di mana  $F_3 \sim F_{(0,05;16;32)}$ . Nilai statistik uji

$F_3$  dan  $P_{value_4}$  disajikan pada Tabel 4.7 berikut.

**Tabel 4.7** Pengujian Kesesuaian Model GWPR

$F_3$	$F_{(0,05;16;32)}$	$P_{value_4}$	Keputusan
12,757	1,9369	0,000	$H_0$ ditolak

Berdasarkan Tabel 4.7, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara model FEM dengan model GWPR.

#### 4.7 Pengujian Parsial Parameter Model GWPR

Hipotesis pengujian parsial model GWPR adalah

$$H_0 : \beta_k(u_i, v_i) = 0, k = 1, 2, \dots, 7 ; i = 1, 2, \dots, 10$$

(Variabel bebas  $X_k$  tidak berpengaruh terhadap IPM di Provinsi Kalimantan Timur).

$$H_1 : \beta_k(u_i, v_i) \neq 0, k = 1, 2, \dots, 7 ; i = 1, 2, \dots, 10$$

(Variabel bebas  $X_k$  berpengaruh terhadap IPM di Provinsi Kalimantan Timur).

Statistik uji adalah  $T_2$  yang diberikan oleh persamaan (2.25).  $H_0$  ditolak pada taraf signifikansi  $\alpha = 0,05$  jika  $|T_2| > t_{(0,025;16)} = 2,1199$  atau menolak  $H_0$  jika  $P_{value_5} < \alpha = 0,05$ . Hasil pengujian signifikansi parameter model GWPR secara parsial untuk Kota Balikpapan disajikan pada Tabel 4.8.

**Tabel 4.8** Pengujian Parsial Model GWPR Kota Balikpapan

Parameter	$T_2$	$P_{value_5}$
$\beta_1$	0,0651	0,9488
$\beta_2$	2,5826	0,0193*
$\beta_3$	1,0334	0,3158
$\beta_4$	-0,6188	0,5442
$\beta_5$	-4,9839	0,0001*

**Tabel 4.8** Pengujian Parsial Model GWPR Kota Balikpapan (Lanjutan)

Parameter	$T_2$	$P_{value_5}$
$\beta_6$	1,2805	0,2175
$\beta_7$	1,4112	0,1762

## JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI

### Ni Made Shantia Ananda, Suyitno, Meiliyani Siringoringo

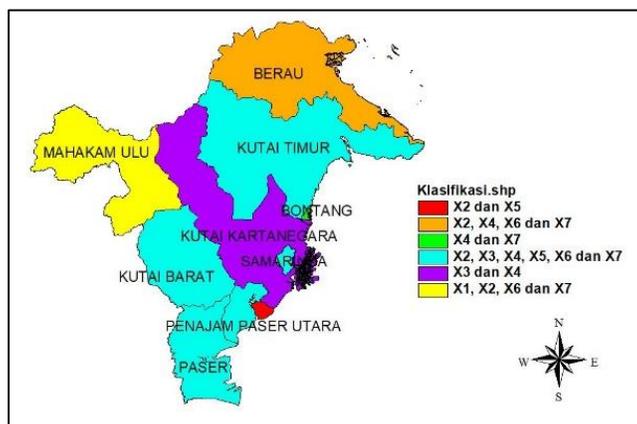
Berdasarkan Tabel 4.8, dapat disimpulkan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi IPM Kota Balikpapan adalah jumlah fasilitas kesehatan dan tingkat pengangguran terbuka.

Pengelompokkan model GWPR untuk seluruh lokasi pengamatan berdasarkan variabel yang berpengaruh disajikan pada Tabel 4.9.

**Tabel 4.9.** Pengelompokkan Model GWPR

Kelompok	Variabel Berpengaruh	Kabupaten/Kota
1	$X_2$ dan $X_5$	Balikpapan
2	$X_2, X_4, X_6$ dan $X_7$	Berau
3	$X_4$ dan $X_7$	Bontang
4	$X_2, X_3, X_4, X_5,$ $X_6$ dan $X_7$	Kutai Barat, Kutai Timur, Paser, Penajam Paser Utara dan Samarinda
5	$X_3$ dan $X_4$	Kutai Kartanegara
6	$X_1, X_2, X_6$ dan $X_7$	Mahakam Ulu

Berdasarkan Tabel 4.9, pengelompokkan model GWPR berdasarkan variabel yang berpengaruh juga dapat disajikan dalam bentuk peta sebaran seperti pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1.** Peta Hasil Pengelompokkan Model GWPR Berdasarkan Variabel yang Berpengaruh

Berdasarkan Gambar 4.1, dapat dilihat bahwa kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur dapat dikelompokkan ke dalam 6 kelompok berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhi IPM. Kelompok pertama dengan warna merah terdiri atas Kota Balikpapan, kelompok kedua dengan warna jingga terdiri atas Kabupaten Berau, kelompok ketiga dengan warna hijau terdiri atas Kota Bontang, kelompok keempat dengan warna biru terdiri atas Kabupaten Kutai Barat, Kabupaten Kutai Timur, Kabupaten Paser, Kabupaten Penajam Paser Utara dan Kota Samarinda, kelompok kelima dengan warna ungu terdiri atas Kabupaten Kutai Kartanegara dan kelompok keenam dengan warna kuning terdiri atas Kabupaten Mahakam Ulu.

#### 4.8 Pengujian Asumsi Homoskedastisitas Model GWPR

Metode yang digunakan dalam pengujian homoskedastisitas adalah uji *Glejser* dengan hipotesis sebagai berikut:

$$H_0 : \sigma_{1,1}^2 = \sigma_{2,1}^2 = \dots = \sigma_{n,T}^2 = \sigma^2$$

(Variansi galat bersifat konstan di seluruh lokasi pengamatan).

**JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI**  
**Ni Made Shantia Ananda, Suyitno, Meiliyani Siringoringo**

$H_1$  : Minimal terdapat satu  $\sigma_{i,t}^2 \neq \sigma^2$  ;  $i = 1, 2, \dots, 10$  ;  $t = 1, 2, 3, 4$

(Variansi galat tidak bersifat konstan di seluruh lokasi pengamatan).

Statistik uji yang digunakan adalah  $F_2$  yang diberikan oleh persamaan (2.14), di mana  $F_2 \sim F_{(0,05;7;23)}$ . Nilai statistik uji  $F_2$  dan  $p_{value_3}$  disajikan pada Tabel 4.10.

**Tabel 4.10** Pengujian Glejser Model GWPR

$F_2$	$F_{(0,05;7;23)}$	$p_{value_3}$	Keputusan
0,3706	2,3127	0,9127	$H_0$ gagal ditolak

Berdasarkan Tabel 4.10, dapat disimpulkan bahwa variansi galat bersifat konstan di seluruh lokasi pengamatan.

#### 4.9 Interpretasi Model GWPR

Interpretasi dilakukan pada salah satu model IPM kabupaten/kota berdasarkan variabel yang berpengaruh. Sebagai contoh, model IPM pada kelompok pertama dengan lokasi pengamatan Kota Balikpapan adalah

$$\hat{y}_{1t}^* = 0,0053x_{1r1}^* + 0,0033x_{1r2}^* + 0,0270x_{1r3}^* - 0,0148x_{1r4}^* - 0,4505x_{1r5}^* + 0,3312x_{1r6}^* + 0,3236x_{1r7}^* ; t = 1, 2, 3, 4 \quad (4.6)$$

Berdasarkan Tabel 4.8 dan persamaan (4.6), diketahui bahwa variabel jumlah fasilitas kesehatan dan tingkat pengangguran terbuka berpengaruh terhadap IPM Kota Balikpapan. Koefisien regresi untuk variabel jumlah fasilitas kesehatan sebesar 0,0033 menandakan bahwa setiap kenaikan 1 unit jumlah fasilitas kesehatan dengan asumsi variabel lain adalah tetap akan meningkatkan IPM di Kota Balikpapan sebesar 0,0033. Koefisien regresi untuk variabel tingkat pengangguran terbuka sebesar -0,4505 menyatakan bahwa setiap kenaikan 1% tingkat pengangguran terbuka dengan asumsi variabel lain adalah tetap akan menurunkan IPM di Kota Balikpapan sebesar 0,4505.

#### 4.10 Ukuran Kebaikan Model FEM dan GWPR

Ukuran kebaikan model pada penelitian ini adalah koefisien determinasi dan *Root Mean Square Error* (RMSE). Nilai koefisien determinasi dan RMSE disajikan pada Tabel 4.11.

**Tabel 4.11** Ukuran Kebaikan Model FEM dan GWPR

Model	$R^2$	RMSE
FEM	77,24%	0,2681
GWPR	94,36%	0,1221

Berdasarkan Tabel 4.11, diperoleh nilai koefisien determinasi model FEM sebesar 77,24% dan nilai koefisien determinasi model GWPR sebesar 94,36%. Nilai RMSE model FEM sebesar 0,2681 dan nilai RMSE model GWPR sebesar 0,1221. Berdasarkan ukuran kebaikan koefisien determinasi, model GWPR lebih baik dalam memodelkan IPM bila dibandingkan dengan model FEM dikarenakan nilai koefisien determinasi model GWPR lebih besar dibandingkan nilai koefisien determinasi model FEM. Berdasarkan ukuran kebaikan RMSE, model GWPR lebih baik dalam memodelkan IPM bila dibandingkan dengan model FEM dikarenakan nilai RMSE model GWPR lebih kecil dibandingkan nilai RMSE model FEM.

## 5. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah

1. Faktor-faktor yang mempengaruhi IPM kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur bersifat lokal dan berbeda-beda untuk setiap lokasi. Sebagai contoh, faktor-faktor yang mempengaruhi IPM Kota Balikpapan adalah jumlah fasilitas kesehatan dan tingkat pengangguran terbuka.
2. Klasifikasi hasil taksiran model GWPR berdasarkan variabel yang berpengaruh menunjukkan bahwa kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur terbagi ke dalam 6 kelompok.
3. Model GWPR lebih baik dalam memodelkan IPM kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur yang dibuktikan oleh nilai koefisien determinasi sebesar 94,36% dan nilai RMSE sebesar 0,1221.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Baeti, N., 2013. Pengaruh Pengangguran, Pertumbuhan Ekonomi dan Pengeluaran Pemerintah Terhadap Pembangunan Manusia Kabupaten/Kota di Provinsi Jawa Tengah Tahun 2007-2011. *Economics Development Analysis Journal*, Vol. 2, No. 3, 85-98.
- [2] BPS, 2014. *Kalimantan Timur dalam Angka 2014*. Samarinda: BPS Provinsi Kalimantan Timur.
- [3] BPS., 2020. *Kalimantan Timur dalam Angka 2020*. Samarinda: BPS Provinsi Kalimantan Timur.
- [4] Cao, K., Diao, M. & Wu, B., 2018. A Big-Data-based Geographically Weighted Regression Model for Public Housing Prices: A Case Study in Singapore. *Annals of the American Association of Geographers*, Vol. 109, No. 1, 173-186.
- [5] Fotheringham, A. S., Brunson, C. & Charlton, M., 2002. *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships*. Chichester: Wiley.
- [6] Greene, W. H., 2007. *Econometrics Analysis 6th Edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- [7] Gujarati, D. N., 2006. *Ekonometrika Dasar*. Jakarta: Erlangga.
- [8] Hidayat, M. J., Hadi, A. F. & Anggraeni, D., 2018. Analisis Regresi Data Panel Terhadap Indeks Pembangunan Manusia (IPM) Jawa Timur Tahun 2006-2015. *Majalah Ilmiah Matematika dan Statistika*, Vol. 18, No. 2, 69-80.
- [9] Hsiao, C., 2003. *Analysis of Panel Data*. New York: Cambridge University Press.
- [10] Jasasila., 2020. Pengaruh Tingkat Kemiskinan dan Jumlah Penduduk Terhadap Indeks Pembangunan Manusia (IPM) Kabupaten Batang Hari 2011-2019. *Jurnal Ilmiah Ekonomi dan Bisnis*, Vol. 11, No. 1, 40-44.
- [11] Melliana, A. & Zain, I., 2013. Analisis Statistika Faktor yang Mempengaruhi Indeks Pembangunan Manusia di Kabupaten/Kota Provinsi Jawa Timur dengan Menggunakan Regresi Panel. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, Vol. 2, No. 2, 237-242.
- [12] Meutuah, M. S., Yasin, H. & Maruddani, D. A. I., 2017. Pemodelan Fixed Effect Geographically Weighted Panel Regression untuk IPM di Jawa Tengah. *Jurnal Gaussian*, Vol. 6, No. 2, 241-250.
- [13] Nakaya, T., Fotheringham, A. S., Brunson, C. & Charlton, M., 2005. Geographically Weighted Poisson Regression for Disease Associative Mapping. *Statistics in Medicine*, Vol. 24, 2695-2717.
- [14] Ningrum, J. W., Khairunnisa, A. H. & Huda, N., 2020. Pengaruh Kemiskinan, Tingkat Pengangguran, Pertumbuhan Ekonomi dan Pengeluaran Pemerintah Terhadap Indeks Pembangunan Manusia (IPM) di Indonesia Tahun 2014-2018 dalam Perspektif Islam. *Jurnal Ilmiah Ekonomi Islam*, Vol. 6, No. 2, 212-222.
- [15] Pratama, A., Suyitno, & Purnamasari, I., 2021. Pemodelan Persentase Penduduk Miskin di Provinsi Kalimantan Timur Menggunakan Model Geographically Weighted Panel Regression. *Jurnal Matematika dan Statistika serta Aplikasinya*, Vol. 9, No. 2, 1-11.

- [16] Qur'ani, A. Y., 2014. Pemodelan Geographically Weighted Regression Panel (GWR-Panel) sebagai Pendekatan Model Geographically Weighted Regression (GWR) dengan Menggunakan Fixed Effect Model Time Trend. *Jurnal Mahasiswa Statistik*, Vol. 2, No. 3.
- [17] Raza, O., Mansournia, M. A., Foroushani, A. R. & Holakouie-Naeni, K., 2019. Geographically Weighted Regression Analysis: A Statistical Method to Account for Spatial Heterogeneity. *Archives of Iranian Medicine*. Vol. 22, No. 3, 155-160.
- [18] Rosadi, D., 2011. *Analisis Ekonometrika dan Runtun Waktu Terapan dengan R*. Yogyakarta: Andi.
- [19] Rustariyuni, S. D., 2014. Pengaruh Gini Ratio, Pengeluaran Non Makanan per Kapita, Belanja Daerah dan Laju Pertumbuhan Ekonomi pada Indeks Pembangunan Manusia Kabupaten/Kota di Provinsi Bali Periode 2004-2012. *Jurnal Piramida*, Vol. 5, No. 1, 45-55.
- [20] Setiawan & Kusriani., 2010. *Ekonometrika*. Yogyakarta: Andi.
- [21] Sifriyani, Mandang, I., Amijaya, F. D. T. & Ruslan, R., 2022. Developing Geographically Weighted Panel Regression Model for Spatio-Temporal Analysis of Covid-19 Positive Cases in Kalimantan, Indonesia. *Journal of Southwest Jiaotong University*. Vol. 57, No. 3, 113-126.
- [22] Wibisono, D., 2005. *Metode Penelitian dan Analisis Data*. Jakarta: Salemba Medika.
- [23] Woolridge, J. M., 2002. *Econometrics Analysis of Cross-Section and Panel Data*. London: MIT Press.
- [24] Yasin, H., 2011. Pemilihan Variabel pada Model Geographically Weighted Regression. *Jurnal Program Studi Statistika FMIPA Universitas Diponegoro*.