

Geographically Weighted Panel Regression Modeling on Human Development Index in West Sumatera

Amelia Fadila Rahman, Syafriandi*, Nonong Amalita, Zilrahmi

Departemen Statistika, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia

*Corresponding author: syafriandi_math@fmipa.unp.ac.id

Submitted : 9 Mei 2023
Revised : 27 Mei 2023
Accepted : 31 Mei 2023

ABSTRACT

The Human Development Index (HDI) is an important issue that has a negative impact on the field of human development and people's welfare in West Sumatra Province. The HDI is being attempted to be solved by identifying the contributing components. Geographically Weighted Panel Regression (GWPR) is a technique that can be used to find influencing factors and explain the influence of characteristic areas of observation. GWPR is a combination of panel data regression method with GWR which is used when the data has the influence of spatial heterogeneity. The purpose of this study is to form a GWPR model that will be applied to the HDI in Regencies/Cities in West Sumatera from 2019 to 2022. Modeling using GWPR Fixed Effect Model. With a minimum CV of 0,000208, the wighter function utilized is a fixed exponential kernel. The findings demonstrated that the model obtained had an of 99.9%, meaning the predictor variable could account for the model by this percentage. Variables that have a significant on HDI are Life Expectancy, Expected Years of Schooling, Mean Years of Schooling, and Purchasing Power Parity.

Keywords: *GWPR, HDI, Panel Data Regression, Spatial Heterogeneity.*



This is an open access article under the Creative Commons 4.0 Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. ©2022 by author and Universitas Negeri Padang.

I. PENDAHULUAN

Provinsi Sumatera Barat selalu mengupayakan peningkatan pembangunan manusia. Menurut BPS indikator untuk mengukur keberhasilan pembangunan manusia adalah Indeks Pembangunan Manusia (IPM). IPM disajikan dalam skor 0-100 dan tanpa satuan. Capaian IPM di Provinsi Sumatera Barat mengalami peningkatan selama 3 tahun terakhir. Pada tahun 2020 IPM Provinsi Sumatera Barat sebesar 72,38. Sementara itu, pada tahun 2021 IPM Provinsi Sumatera Barat meningkat menjadi 72,65 dan pada tahun 2022 IPM Provinsi Sumatera Barat kembali meningkat menjadi 73,26 (BPS, 2022). Meski meningkat setiap tahun, namun masih terdapat permasalahan pada IPM Provinsi Sumatera Barat yaitu ketidakmerataan IPM di setiap Kabupaten/Kota. Ketidakmerataan ini disebabkan karena adanya dugaan kecenderungan IPM di daerah Kabupaten lebih rendah dibandingkan daerah Kota. Oleh sebab itu diperlukan penanganan untuk mengatasi masalah IPM di Provinsi Sumatera Barat.

Upaya mengatasi permasalahan IPM di Provinsi Sumatera Barat adalah dengan mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhinya. Analisis statistik dalam mengatasi permasalahan IPM ialah regresi. Analisis regresi merupakan suatu analisis yang digunakan untuk melihat bentuk hubungan antara variabel respon dengan variabel prediktor (Budiantara, 2000). Salah satu analisis regresi yang sering digunakan adalah analisis regresi linear dimana memiliki asumsi yang harus dipenuhi. Salah satu asumsi regresi linear adalah non heteroskedastisitas (homoskedastisitas) dimana varian dari sisaan satu amatan dengan amatan yang lain sama. Heteroskedastisitas diduga disebabkan oleh heterogenitas spasial. Heterogenitas spasial ialah variabel prediktor yang sama memberikan respon berbeda di lokasi yang berbeda pada daerah observasi (Caraka dan Yasin, 2017). Hal ini disebabkan adanya perbedaan karakteristik daerah amatan. Kasus IPM di Provinsi Sumatera Barat diduga melanggar asumsi non heteroskedastisitas karena adanya perbedaan karakteristik daerah Kabupaten/Kota di Provinsi Sumatera Barat.

Pengamatan IPM di Provinsi Sumatera Barat dilakukan dari tahun 2019 hingga 2022. Dengan kata lain data IPM Provinsi Sumatera Barat menggunakan data panel untuk memperoleh hasil yang lebih efisien dan kesimpulan yang lebih akurat. Metode statistik untuk mengatasi permasalahan heterogenitas spasial dalam data panel adalah *Geographically Weighted Panel Regression* (Meutuah dan Maulina, 2017). *Geographically Weighted Panel Regression* (GWPR) merupakan gabungan *Geographically Weighted Regression* (GWR) dengan regresi data panel. Penelitian oleh Yu (2010) melakukan kombinasi pengembangan teknik analisis spasial dengan menggabungkan GWR dengan regresi data panel. Penelitiannya menyimpulkan bahwa GWPR lebih baik digunakan dibandingkan GWR.

Selain itu, penelitian Wati dan Utami (2020) yang membandingkan GWPR dengan regresi linear terhadap IPM Provinsi Jawa Timur. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa GWPR lebih baik digunakan daripada regresi linear. Berdasarkan latar belakang tersebut, dilakukan penelitian IPM di Sumatera Barat yang bertujuan untuk pemodelan GWPR terhadap IPM di Kabupaten/Kota dan mengetahui variabel yang memberikan pengaruh signifikan pada IPM di Kabupaten/Kota di Provinsi Sumatera Barat.

II. METODE PENELITIAN

A. Sumber Data dan Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder. Data bersumber dari BPS Provinsi Sumatera Barat tahun 2019 hingga 2022. Variabel penelitian yang digunakan adalah IPM (Y), persentase kemiskinan (X_1), harapan hidup (X_2), harapan lama sekolah (X_3), rata-rata lama sekolah (X_4), dan pengeluaran per kapita (X_5).

B. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data menggunakan analisis GWPR dengan pendekatan *Fixed Effect Model*. Analisis data menggunakan bantuan *software RStudio*. Adapun tahapan analisis data sebagai berikut.

1. Melakukan analisis statistik deskriptif pada variabel penelitian.

Analisis statistik deskriptif pada data dilakukan untuk melihat ringkasan data penelitian secara umum. Analisis deskriptif meliputi nilai minimum, nilai maksimum, rata-rata, dan standar deviasi variabel penelitian. Selain itu juga dilakukan pemetaan IPM di Provinsi Sumatera Barat guna melihat persebaran IPM di setiap Kabupaten/Kota.

2. Memodelkan regresi data panel.

Regresi data panel adalah analisis regresi pada data yang terdiri dari unit individu (pengamatan) yang diamati pada periode waktu tertentu (Hsiao, 2003). Menurut Baltagi (2005), secara umum model regresi data panel memiliki persamaan yang disajikan pada Persamaan (1).

$$y_{it} = \alpha_{it} + \mathbf{X}'_{it}\boldsymbol{\beta} + u_{it}, i = 1, 2, \dots, N \text{ dan } t = 1, 2, \dots, T \quad (1)$$

Menurut Gujarati (2009), dalam pemodelan regresi data panel dapat menggunakan 3 pendekatan yaitu *common effect model*, *fixed effect model*, dan *random effect model*. *Common Effect Model* (CEM) merupakan model data panel dengan tidak memperhatikan pengaruh individu dan waktu. Persamaan CEM disajikan pada Persamaan (2).

$$y_{it} = \alpha + \mathbf{X}'_{it}\boldsymbol{\beta} + u_{it} \quad (2)$$

Parameter CEM diestimasi menggunakan metode *Ordinary Least Square* (OLS). Estimator $\hat{\boldsymbol{\beta}}$ disajikan pada Persamaan (3).

$$\hat{\boldsymbol{\beta}} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{Y} \quad (3)$$

dengan \mathbf{X} adalah matriks yang berisikan nilai variabel prediktor dan \mathbf{Y} adalah vektor yang berisikan nilai variabel respon.

Fixed Effect Model (FEM) adalah model data panel yang menunjukkan pengaruh individu dan pengaruh waktu. Persamaan FEM disajikan pada Persamaan (4).

$$y_{it} = \alpha_i + \mathbf{X}'_{it}\boldsymbol{\beta} + u_{it} \quad (4)$$

Estimasi parameter FEM dapat menggunakan *within estimator*. Menurut Wooldridge (2012), estimasi parameter FEM dengan *within estimator* disajikan pada Persamaan (5).

$$\hat{\boldsymbol{\beta}} = (\ddot{\mathbf{X}}'\ddot{\mathbf{X}})^{-1}(\ddot{\mathbf{X}}'\ddot{\mathbf{y}}) \quad (5)$$

dengan $\ddot{\mathbf{X}}$ merupakan matriks yang berisi nilai variabel prediktor rata-rata terkoreksi dan $\ddot{\mathbf{y}}$ merupakan vektor yang berisi nilai variabel respon rata-rata terkoreksi.

Random Effect Model (REM) adalah model yang dimana variabel acak yang dimasukkan ke model dalam bentuk sisan. Model REM disajikan pada Persamaan (6).

$$y_{it} = \alpha + \mathbf{X}'_{it}\boldsymbol{\beta} + \varepsilon_i + v_{it} \quad (6)$$

Parameter REM diestimasi dengan metode *Generalized Least Square* (GLS). Estimasi parameter REM disajikan pada Persamaan (7).

$$\hat{\boldsymbol{\beta}} = \mathbf{Y}'(\mathbf{I} - \mathbf{X}(\mathbf{X}'\mathbf{W}\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{W})\mathbf{Y} \quad (7)$$

dimana X merupakan matriks yang berisi nilai variabel prediktor, Y merupakan vektor yang berisi nilai variabel respon, dan $I = W'DW$ dengan D matriks diagonal dimana setiap diagonalnya bernilai λ dan W merupakan matriks diagonal dimana setiap diagonalnya bernilai $\frac{1}{\lambda}$.

3. Memilih model regresi data panel terbaik.

Uji model regresi data panel bertujuan memilih model terbaik yang akan digunakan. Pemilihan model terbaik menggunakan 3 uji yaitu Chow, Hausman, dan Lagrange Multiplier. Uji Chow dilakukan untuk memilih model CEM dengan FEM. Hipotesis uji Chow sebagai berikut.

$$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_N = 0 \text{ (CEM adalah model terbaik)}$$

$$H_1 : \text{minimal terdapat satu } \alpha_i \text{ dimana } \alpha_i \neq 0 \text{ (FEM adalah model terbaik)}$$

Statistik uji (Gujarati, 2009).

$$F_{hitung} = \frac{(RSS_{CEM} - RSS_{FEM}) / (N-1)}{RSS_{FEM} / (NT - N - K)} \quad (8)$$

Jika $F_{hitung} > F_{\alpha, N-1, N(T-1)-K}$ atau $p\text{-value} < \alpha$ maka H_0 ditolak.

Uji Hausman dilakukan untuk memilih model terbaik antara model FEM dengan model REM. Hipotesis uji Hausman sebagai berikut.

$$H_0 : E(u_{it}|X_{it}) = 0 \text{ (REM merupakan model terbaik)}$$

$$H_1 : E(u_{it}|X_{it}) \neq 0 \text{ (FEM merupakan model terbaik)}$$

Statistik uji.

$$\chi^2_{hitung} = (\beta_{REM} - \beta_{FEM})' [Var(\beta_{REM} - \beta_{FEM})]^{-1} (\beta_{REM} - \beta_{FEM}) \quad (9)$$

Keputusan tolak H_0 jika $\chi^2_{hitung} > \chi^2_{(K, \alpha)}$ atau $p\text{-value} < \alpha$.

Uji Lagrange Multiplier dilakukan untuk memilih model terbaik antara model CEM dengan Model REM. Hipotesis uji Lagrange Multiplier sebagai berikut.

$$H_0 : \sigma_u^2 = 0 \text{ (CEM merupakan model terbaik)}$$

$$H_1 : \sigma_u^2 \neq 0 \text{ (REM merupakan model terbaik)}$$

Statistik uji (Greene, 2000).

$$LM = \frac{NT}{2(T-1)} \left[\frac{\sum_{i=1}^N [\sum_{t=1}^T \varepsilon_{it}]^2}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \varepsilon_{it}^2} - 1 \right]^2, \sim \chi^2_{\alpha, 1} \quad (10)$$

Jika $LM > \chi^2_{\alpha, 1}$ atau $p\text{-value} < \alpha$ maka keputusan menolak H_0 .

4. Pengujian signifikansi parameter model regresi data panel terbaik.

Uji signifikansi parameter regresi data panel meliputi uji serentak dan uji parsial. Uji serentak dilakukan untuk melihat adanya pengaruh variabel prediktor pada variabel respon secara bersamaan dengan hipotesis uji berikut.

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

$$H_1 : \text{sekurang-kurangnya terdapat satu } \beta_j \neq 0; j = 1, 2, \dots, k$$

Statistik uji.

$$F_{hitung} = \frac{R^2 / (N+k-1)}{(1-R^2) / (NT-N-k)} \quad (11)$$

dimana N banyak amatan, k banyaknya variabel prediktor, N periode waktu, dan R^2 koefisien determinasi dengan $R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST}$. Jika $F_{hitung} > F_{\alpha, (K, NT-K-1)}$ atau $p\text{-value} < \alpha$, maka keputusan menolak H_0 .

Untuk melihat pengaruh individu variabel prediktor dilakukan uji parsial dengan hipotesis berikut.

$$H_0 : \beta_j = 0$$

$$H_1 : \beta_j \neq 0; j = 1, 2, \dots, k$$

Statistik uji.

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\beta}_j}{SE(\hat{\beta}_j)} \quad (12)$$

Jika $t_{hitung} > t_{\frac{\alpha}{2}, (NT-K-1)}$ atau $p\text{-value} < \alpha$, maka keputusan menolak H_0 .

5. Pengujian pengaruh heterogenitas spasial pada data IPM.

Pengaruh heterogenitas spasial disebabkan oleh perbedaan karakteristik antar wilayah amatan. Pengujian heterogenitas spasial penting dilakukan supaya memperoleh estimasi yang efisien dan kesimpulan yang akurat. Uji pengaruh heterogenitas spasial menggunakan uji *Breusch-Pagan* (BP). Berikut hipotesis uji BP (Baltagi, 2005).

$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_n^2 = \sigma^2$ (tidak terjadi heterogenitas spasial)
 $H_1 : \text{sekurang-kurangnya terdapat satu } \sigma_i^2 \neq \sigma^2$ (terjadi heterogenitas spasial)
 Statistik uji.

$$BP = \left(\frac{1}{2}\right) \mathbf{f}^T \mathbf{Z} (\mathbf{Z}^T \mathbf{Z})^{-1} \mathbf{Z}^T \mathbf{f} \quad (13)$$

dengan $\mathbf{f} : \mathbf{f} = \left(\frac{e_i^2}{\sigma^2} - 1\right)$, dimana e_i adalah *error* ke- i dan σ^2 adalah varians. \mathbf{Z} adalah matriks dengan nilai vektor X terstandarisasi. Jika $BP > \chi_p^2$ atau $p\text{-value} < \alpha$ maka keputusan menolak H_0 .

6. *Pemodelan Geographically Weighted Panel Regression (GWPR)*

GWPR ialah penggabungan regresi data panel dengan GWR yang digunakan ketika terdapat pengaruh heterogenitas spasial pada data. GWPR dilakukan dengan pendekatan titik *latitude* dan *longitude* wilayah amatan. Menurut Fotheringham dkk (2002) model GWPR dengan *within estimator* disajikan pada Persamaan (14).

$$\dot{y}_{it} = \beta_0(u_{it}, v_{it}) + \sum_{k=1}^p \beta_k(u_{it}, v_{it}) \dot{x}_{itk} + \dot{\epsilon}_{itk} \quad (14)$$

Parameter model GWPR diestimasi menggunakan *Weighted Least Square* (WLS). WLS digunakan dengan pembobotan yang berbeda-beda di lokasi ke- i dan waktu ke- t . Estimasi parameter GWPR disajikan pada Persamaan (15).

$$\hat{\beta}(u_{it}, v_{it}) = (\ddot{X}' \mathbf{W}(u_{it}, v_{it}) \ddot{X})^{-1} \ddot{X}' \mathbf{W}(u_{it}, v_{it}) \ddot{y} \quad (15)$$

$\hat{\beta}(u_{it}, v_{it})$ adalah vektor koefisien regresi pada lokasi amatan ke- i dan waktu ke- t serta $\mathbf{W}(u_{it}, v_{it})$ merupakan matriks pembobot untuk lokasi amatan ke- i dan waktu ke- t . Fotheringham dkk (2002) mengemukakan bahwa pembobot w_{ij} yang digunakan adalah *fixed kernel*. *Fixed gaussian kernel* memiliki rumus yang disajikan pada Persamaan (16).

$$w_{ij} = \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{d_{ij}}{h}\right)^2\right) \quad (16)$$

Sementara itu, rumus hitung fungsi pembobot *fixed exponential kernel* disajikan pada Persamaan (17).

$$w_{ij} = \exp\left(-\frac{d_{ij}}{h}\right) \quad (17)$$

Sedangkan rumus untuk menghitung fungsi pembobot *fixed bisquare kernel* disajikan pada Persamaan (18).

$$w_{ij} = \left(1 - \left(\frac{d_{ij}}{h}\right)^2\right)^2 \quad (18)$$

dimana d_{ij} merupakan jarak Euclidean dengan $d_{ij} = \sqrt{(u_{ij} - u_{ij})^2 + (v_{ij} - v_{ij})^2}$ dan h adalah *bandwidth*. *Bandwidth* diperoleh dari *Cross Validation* (CV) yang minimum. Rumus CV disajikan pada Persamaan 19.

$$CV = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{\neq i}(b))^2 \quad (19)$$

7. *Pengujian model GWPR*

Pengujian model GWPR meliputi uji kesesuaian model dan uji signifikansi parameter model. Uji kesesuaian model GWPR bertujuan untuk melihat apakah ada perbedaan antara model regresi linear dengan model GWPR dengan hipotesis uji sebagai berikut.

$H_0 : \beta_k(u_{it}, v_{it}) = \beta_k$ (tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada model regresi linear dan model GWPR).

$H_1 : \text{sekurang-kurangnya terdapat satu } \beta_k(u_{it}, v_{it}) \neq \beta_k$ (terdapat perbedaan yang signifikan pada model regresi linear dan model GWPR).

Statistik uji.

$$F = \frac{RSS(H_1)/df_1}{RSS(H_0)/df_2} \quad (20)$$

Tolak H_0 jika $F_{hitung} > F_{1-\alpha, df_1, df_2}$ atau $p\text{-value} < \alpha$.

Sementara itu uji parsial dilakukan untuk mengetahui pengaruh signifikansi parameter secara parsial. Hipotesis uji parsial sebagai berikut.

$H_0 : \beta_k(u_{it}, v_{it}) = 0$

$H_1 : \beta_k(u_{it}, v_{it}) \neq 0$

Statistik Uji.

$$T_{hit} = \frac{\hat{\beta}_{k(u_{it},v_{it})}}{\hat{\sigma}\sqrt{c_{kk}}} \quad (21)$$

Jika $T_{hit} > T_{(\frac{\alpha}{2},df)}$ atau $p\text{-value} < \alpha$, maka keputusan menolak H_0 .

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

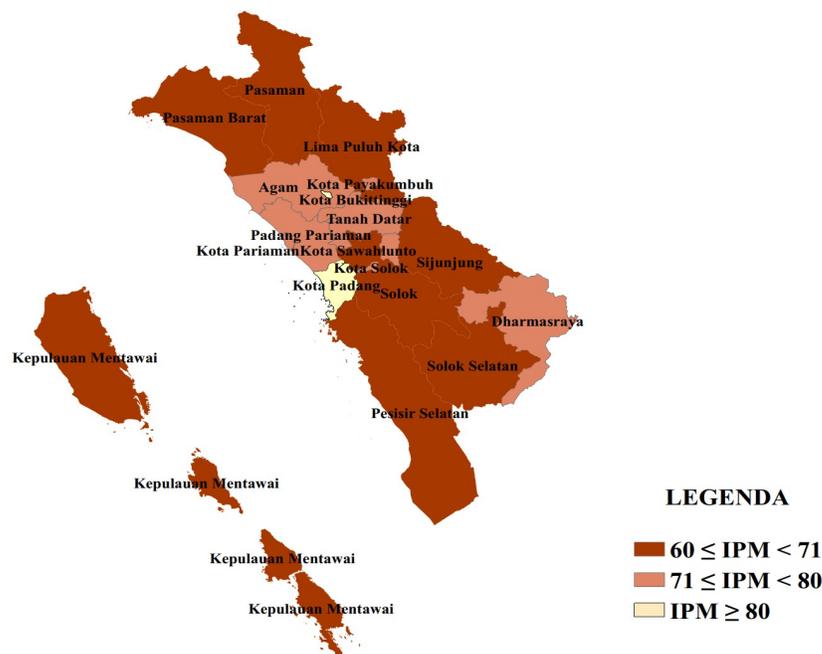
A. Statistika Deskriptif

Sebelum pemodelan dilakukan deskripsi data untuk melihat ringkasan data penelitian secara umum. Deskripsi data dilakukan pada variabel penelitian. Tabel 1 menyajikan deskripsi variabel penelitian.

Tabel 1. Statistik deskriptif

Variabel	Minimum	Rata-rata	Maksimum	Standar Deviasi
Y	62,19	73,31	83,29	5,4
X ₁	2,28	5,91	13,97	2,4
X ₂	64,93	70,65	74,82	2,74
X ₃	12,51	13,85	16,54	1,02
X ₄	7,48	9,39	11,92	1,51
X ₅	6567	11010,95	14889	1955,6

Pada Tabel 1, dapat dilihat variabel prediktor penelitian memiliki perbedaan karakteristik. Wilayah dengan capaian IPM tertinggi adalah Kota Padang yaitu sebesar 83,29. Sedangkan wilayah dengan IPM terendah adalah Kabupaten Kepulauan Mentawai yaitu sebesar 62,19. Sementara itu, rata-rata IPM Kabupaten/Kota di Sumatera Barat sebesar 73,31. Selanjutnya sebaran IPM di Sumatera Barat yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sebaran IPM Kabupaten/Kota di Sumatera Barat Tahun 2022

Berdasarkan Gambar 1, diketahui jika semakin gelap warna pada suatu wilayah maka semakin rendah IPM wilayah tersebut. Daerah Kabupaten memiliki IPM yang cenderung lebih rendah dibandingkan dengan daerah Kota. Hal ini diduga terdapat pengaruh heterogenitas spasial pada kasus IPM di Sumatera Barat.

B. Pemodelan Regresi Data Panel

Model regresi data panel diestimasi menggunakan Persamaan (3), (5), dan (7). Tabel 2 menyajikan estimasi parameter model regresi data panel.

Tabel 2. Hasil estimasi parameter regresi data panel

Variabel	CEM		FEM		REM	
	Koefisien	P-Value	Koefisien	P-Value	Koefisien	P-Value
X ₁	-0,058	2 x 10 ⁻¹⁶	-0,0107	0,1765	-0,0239	0,00062
X ₂	0,264	2 x 10 ⁻¹⁶	0,223	2e-16	0,248	2 x 10 ⁻¹⁶
X ₃	0,173	2 x 10 ⁻¹⁶	0,197	2e-16	0,171	2 x 10 ⁻¹⁶
X ₄	0,278	2 x 10 ⁻¹⁶	0,33	2e-16	0,3152	2 x 10 ⁻¹⁶
X ₅	0,364	2 x 10 ⁻¹⁶	0,338	2e-16	0,338	2 x 10 ⁻¹⁶

Berdasarkan Tabel 2, diketahui variabel X₁ memberikan pengaruh negatif pada model. Artinya variabel X₁ memiliki hubungan yang berbanding terbalik dengan variabel Y. Sementara itu variabel X₂, X₃, X₄, dan X₅ memiliki pengaruh positif pada model. Setelah parameter model diperoleh, dilakukanlah pemilihan model terbaik. Pemilihan ini dilakukan menggunakan Persamaan (8) dan (9). Tabel 3 menyajikan hasil uji pemilihan model regresi data panel.

Tabel 3. Uji pemilihan model terbaik regresi data panel

Uji	Statistik Uji
Chow	84,694
Hausman	129,100

Uji Chow dilakukan untuk memilih model CEM dengan FEM. Hasil $F_{hitung} = 84,694$ lebih besar dibandingkan $F_{tabel} = 1,806$ yang berarti model terbaik yang terpilih adalah FEM. Selanjutnya pengujian Hausman untuk memilih model FEM dan REM. Hasil $\chi^2_{hitung} = 129,1$ lebih besar dibandingkan $\chi^2_{tabel} = 11,071$ yang berarti FEM merupakan model terbaik. Dari hasil uji Chow dan uji Hausman diketahui bahwa FEM adalah model terbaik pada kasus IPM di Sumatera Barat.

Uji serentak regresi data panel dengan pendekatan FEM dilakukan menggunakan Persamaan (11). Pada uji serentak regresi data panel diperoleh $p\text{-value} = 2,2 \times 10^{-16}$. Hal ini berarti variabel prediktor memberikan pengaruh secara serentak pada variabel respon pada $\alpha = 0,05$. Sementara itu, uji parsial menggunakan Persamaan (12) diperoleh bahwa variabel X₂, X₃, X₄, dan X₅ berpengaruh secara parsial terhadap Y. Sedangkan X₁ tidak berpengaruh terhadap Y karena $p\text{-value}$ koefisien X₁ model FEM $> \alpha = 0,05$. Oleh sebab itu perlu dilakukan eliminasi X₁ terhadap model. Sehingga parameter model regresi data panel diestimasi menggunakan pendekatan FEM diperoleh sebagai berikut.

$$\hat{y}_{it} = 0,229x_{2,it} + 0,199x_{3,it} + 0,329x_{4,it} + 0,343x_{5,it}$$

Berdasarkan model FEM di atas diketahui bahwa seluruh variabel prediktor berpengaruh signifikan terhadap model dengan pengaruh positif. Artinya nilai prediksi akan bertambah seiring pertambahan nilai variabel prediktor. Setiap pertambahan nilai X₂ satu satuan maka akan meningkatkan nilai prediksi sebesar 0,229. Setiap pertambahan nilai X₃ satu satuan akan meningkatkan nilai prediksi sebesar 0,199. Setiap pertambahan X₄ satu satuan akan meningkatkan nilai prediksi sebesar 0,329. Setiap pertambahan nilai X₅ satu satuan akan meningkatkan nilai prediksi sebesar 0,343.

C. Pengujian Heterogenitas Spasial

Pengujian heterogenitas spasial dilakukan untuk mengetahui apakah wilayah amatan dipengaruhi oleh perbedaan karakteristik wilayah tersebut. Pengujian ini menggunakan uji BP yang ditunjukkan oleh Persamaan (13). Diperoleh hasil uji BP dengan $p\text{-value} = 3,09 \times 10^{-9}$. Dengan $\alpha = 0,05$, maka tolak H₀ yang berarti bahwa terdapat pengaruh heterogenitas spasial pada data IPM di Sumatera Barat. Untuk itu regresi data panel dengan pendekatan FEM dianggap kurang cocok digunakan. Oleh sebab itu dilakukan pemodelan dengan GWPR.

D. Pemodelan Geographically Weighted Panel Regression (GWPR)

Parameter model GWPR diestimasi menggunakan WLS. WLS dengan memberikan pembobot berdasarkan garis *latitude* dan *longitude* wilayah tersebut. Tahap awal pemodelan GWPR dengan *within estimator* dilakukan dengan memilih fungsi pembobot dengan *bandwidth* optimum. Pemilihan *bandwidth* berdasarkan nilai CV minimum. Nilai CV diperoleh menggunakan Persamaan (19). Tabel 4 menyajikan *bandwidth* dan CV untuk masing-masing fungsi pembobot pada GWPR.

Tabel 4. Nilai *bandwidth* pada fungsi pembobot

Fungsi Pembobot <i>Fixed Kernel</i>	<i>Bandwidth</i>	CV
<i>Gaussian</i>	0,365	0,0243
<i>Exponential</i>	0,901	0,0146
<i>Bisquare</i>	3,007	0,0621

Berdasarkan Tabel (4) dapat dilihat bahwa fungsi pembobot yang akan digunakan adalah *fixed exponential kernel* karena fungsi pembobot ini memiliki *bandwidth* yang optimum dengan CV yang minimum. Selanjutnya uji kesesuaian model GWPR dan uji signifikansi parameter GWPR. Uji kesesuaian model menggunakan Persamaan (20). Tabel 5 menunjukkan hasil uji sesuaian model GWPR.

Tabel 5. Hasil uji kesesuaian model GWPR

Hasil	Keputusan
$F_{hitung} = 5,158; F_{tabel} = 2,0904; p\text{-value} = 2,269 \times 10^{-4} < \alpha = 0,05$	Tolak H_0

Tabel 5 menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara regresi linier dengan GWPR. Ini berarti bahwa model GWPR yang diperoleh baik untuk digunakan. Selain itu model GWPR memiliki R^2 sebesar 99,9% yang berarti variabel prediktor mampu menjelaskan model sebesar 99,9%. Selanjutnya pengujian signifikansi parameter menggunakan Persamaan (21). Tabel 6 menyajikan variabel yang signifikan pada model GWPR.

Tabel 6. Variabel signifikan di setiap Kabupaten/Kota

Kabupaten/Kota	Variabel yang Signifikan
Kab. Kepulauan Mentawai	$X_4 X_5$
Kota Padang, Kota Solok, Kota Sawahlunto, Kota Padang Panjang, Kota Bukittinggi, Kota Payakumbuh, dan Kota Pariaman, Kab. Pesisir Selatan, Kab. Solok, Kab. Sijunjung, Kab. Tanah Datar, Kab. Padang Pariaman, Kab. Agam, Kab. Lima Puluh Kota, Kab. Pasaman, Kab. Solok Selatan, Kab. Dharmasraya, dan Kab. Pasaman Barat	$X_2 X_3 X_4 X_5$

Berdasarkan Tabel 6 dapat dilihat bahwa di Kepulauan Mentawai variabel yang signifikan terhadap model GWPR adalah X_4 dan X_5 . Sementara itu, pada Kabupaten/Kota lainnya variabel yang signifikan adalah $X_2, X_3, X_4,$ dan, X_5 . Berdasarkan variabel yang signifikan di setiap Kabupaten/Kota, maka dapat dilakukan estimasi model GWPR untuk setiap Kabupaten/Kota menggunakan Persamaan (15). Contoh salah satu model yang terbentuk adalah di Kabupaten Lima Puluh Kota. Berikut model GWPR dengan pendekatan *Fixed Effect Model* di Kabupaten Lima Puluh Kota.

$$\hat{y}_{8t} = 0,445x_{2,8t} + 0,844x_{3,8t} + 1,269x_{4,8t} + 0,0011x_{5,8t}$$

Dari model GWPR Kabupaten Lima Puluh Kota diketahui bahwa seluruh variabel prediktor berpengaruh positif pada model. Artinya nilai prediksi akan bertambah seiring pertambahan variabel prediktor. Contohnya seiring pertambahan variabel angka harapan hidup (X_2) satu satuan maka akan meningkatkan nilai prediksi sebesar 0,445. Begitu pun juga variabel $X_3, X_4,$ dan X_5 .

IV. KESIMPULAN

Pemodelan GWPR menggunakan GWPR dengan pendekatan *Fixed Effect Model*. Salah satu contoh model yang diperoleh adalah Kabupaten Lima Puluh Kota. Berikut model GWPR untuk daerah Kabupaten Lima Puluh Kota.

$$\hat{y}_{8t} = 0,445x_{2,8t} + 0,844x_{3,8t} + 1,269x_{4,8t} + 0,0011x_{5,8t}$$

Variabel yang memberikan pengaruh signifikan pada IPM di Kabupaten Kepulauan Mentawai adalah rata-rata lama sekolah (X_4) serta pengeluaran per kapita (X_5). Sedangkan pada Kabupaten/Kota lainnya variabel yang memberikan pengaruh signifikan pada IPM adalah angka harapan hidup (X_2), harapan lama sekolah (X_3), rata-rata lama sekolah (X_4), dan pengeluaran per kapita (X_5). Variabel prediktor yang signifikan di setiap Kabupaten/Kota berpengaruh positif terhadap IPM. Artinya setiap penambahan nilai variabel prediktor satu satuan maka akan meningkatkan nilai IPM di setiap Kabupaten/Kota tersebut. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambah periode tahun data panel serta menambah variabel prediktor yang mempengaruhi variabel respon penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik (2022). *Provinsi Sumatera Barat dalam Angka 2022*, Badan Pusat Statistik Sumatera Barat , Padang.
- Baltagi, B.H. (2005). *Econometric Analysis of Panel Data (3rd ed.)*. England: John Willey & Sons, Ltd.
- Budiantara, I.N. (2000). *Estimator Spline dalam Regresi Nonparametrik dan Semiparametrik*. Universitas Gajah Mada: Yogyakarta.
- Caraka, R.E & Yasin H. (2017). *Spatial Data Panel*. Ponorogo: WADE group.
- Fotheringham, A.S., Brunson, C., & Charlton, M. (2002). *Geographically Weighted Regression: the analysis of spatially varying relationships*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- Greene, W. (2000). *Econometric Analysis 7 th Edition*. New Jersey: Prentice-Hall Inc.
- Gujarati, D. (2009). *Basic Econometrics 5 th Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Hsiao, C. (2003). *Analysis of Panel Data*. New York: Cambridge University Press.
- Meutuah, & Maulina, S., (2017). Pemodelan Fixed Effect Geographically Weighted Panel Regression untuk Indeks Pembangunan Manusia di Jawa Tengah, *Jurnal Gaussian*, 6(2), 241-250.
- Wati, D.C., & Herni Utami. (2020). Model Geographically Weighted Panel Regression (GWPR) dengan Fungsi Kernel Fixed Gaussian pada Indeks Pembangunan Manusia di Jawa Timur. *Jurnal Matematika Thales (MT)*, 2(1), 78-97.
- Wooldridge, J. (2012). *Introductory Econometrics: A Modern Approach, Fifth Edition*. Mason: Cengage Learning.
- Yu, D. (2010) Exploring Spatiotemporally Varying Regressed Relationships: The Geographically Weighted Panel Regression Analysis. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(2), 134-139.