

Pemodelan Spasial Tingkat Pengangguran Terbuka Kabupaten/Kota di Pulau Sumatera Menggunakan Pendekatan Geographically Weighted Panel Regression

Figo Rahmatullah¹, Syafriandi², Fadhilah Fitri³

^{1,2,3}Universitas Negeri Padang

¹figorahmatullah868@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT) kabupaten/kota di Pulau Sumatera pada periode 2022–2024 dengan mempertimbangkan variasi spasial dan temporal. Data yang digunakan merupakan data panel yang bersumber dari Badan Pusat Statistik (BPS), dengan variabel dependen Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT) dan variabel independen Indeks Pembangunan Manusia (IPM), Rata-rata Lama Sekolah (RLS), Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (TPAK), serta Produk Domestik Regional Bruto (PDRB). Metode analisis yang digunakan adalah regresi data panel dan *Geographically Weighted Panel Regression* (GWPR). Pemilihan model panel terbaik dilakukan melalui uji Chow dan uji Hausman, yang menunjukkan bahwa *Fixed Effect Model* (FEM) merupakan model panel yang paling sesuai. Hasil pengujian heterogenitas spasial dengan uji *Breusch–Pagan* menunjukkan adanya heterogenitas spasial, sehingga pendekatan GWPR layak digunakan. Model GWPR dengan fungsi pembobot adaptive kernel bisquare dan bandwidth optimal mampu menjelaskan variasi pengaruh variabel independen terhadap TPT secara lokal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum RLS dan PDRB cenderung memiliki pengaruh positif terhadap TPT, sedangkan TPAK cenderung berpengaruh negatif, namun arah dan besaran pengaruh tersebut bervariasi antarwilayah. Model GWPR memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan regresi panel global dengan nilai koefisien determinasi sebesar 96,8%. Temuan ini menegaskan pentingnya pendekatan spasial dalam perumusan kebijakan ketenagakerjaan yang lebih tepat sasaran di Pulau Sumatera.

Kata Kunci: Tingkat Pengangguran Terbuka; Geographically Weighted Panel Regression; data panel; heterogenitas spasial; Pulau Sumatera.

ABSTRACT

This study aims to analyze the factors affecting the Open Unemployment Rate (OUR) at the regency/city level in Sumatra Island during the 2022–2024 period by considering spatial and temporal variations. The study employs panel data obtained from Statistics Indonesia, with the Open Unemployment Rate as the dependent variable and the Human Development Index, Mean Years of Schooling, Labor Force Participation Rate, and Gross Regional Domestic Product as independent variables. Panel data regression and Geographically Weighted Panel Regression (GWPR) are applied as analytical methods. The best panel regression model is selected using the Chow and Hausman tests, which indicate that the Fixed Effect Model is the most appropriate. The Breusch–Pagan test confirms the presence of spatial heterogeneity, justifying the use of the GWPR approach. The GWPR model with an adaptive bisquare kernel weighting function and optimal bandwidth successfully captures local variations in the relationship between explanatory variables and unemployment. The results reveal that Mean Years of Schooling and Gross Regional Domestic Product have a positive effect on the Open Unemployment Rate, while the Labor Force Participation Rate has a negative effect, with varying magnitudes across regions. The GWPR model outperforms the global panel regression, achieving a coefficient of determination of 96.8%. These findings highlight the importance of incorporating spatial approaches in formulating region-specific employment policies in Sumatra Island.

Keywords: Open Unemployment Rate; Geographically Weighted Panel Regression; panel data; spatial heterogeneity; Sumatra Island.

PENDAHULUAN

Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT) merupakan indikator utama dalam menilai kinerja pasar tenaga kerja dan stabilitas sosial ekonomi suatu wilayah (Todaro & Smith, 2015). Tingginya TPT mencerminkan ketidakseimbangan antara penawaran dan permintaan tenaga kerja yang dapat berdampak pada meningkatnya kemiskinan, ketimpangan pendapatan, serta menurunnya kesejahteraan masyarakat (Chen et al., 2016). Di Indonesia, permasalahan pengangguran menunjukkan variasi yang signifikan antarwilayah akibat perbedaan struktur ekonomi, tingkat pembangunan, dan kualitas sumber daya manusia (Badan Pusat Statistik, 2025).

Pulau Sumatera memiliki karakteristik geografis dan ekonomi yang heterogen antar kabupaten/kota, sehingga tingkat dan pola pengangguran yang terjadi tidak bersifat seragam. Pada periode 2022–2024, dinamika ekonomi pascapandemi dan perubahan kondisi makroekonomi turut memengaruhi fluktuasi TPT secara temporal. Perbedaan respons ekonomi antarwilayah ini menunjukkan bahwa faktor-faktor yang memengaruhi TPT bersifat spesifik wilayah dan waktu, sehingga diperlukan pendekatan analisis yang mampu menangkap variasi spasial dan temporal secara simultan (Sifriyani et al., 2022).

Penelitian terdahulu mengenai Tingkat Pengangguran Terbuka umumnya menggunakan pendekatan regresi data panel, seperti model *pooled regression*, *fixed effects*, dan *random effects*, karena mampu mengakomodasi perbedaan karakteristik individu dan variasi waktu (Baltagi, 2021). Namun, model panel klasik mengasumsikan bahwa pengaruh variabel independen terhadap TPT bersifat homogen di seluruh wilayah pengamatan, sehingga kurang mampu menangkap perbedaan karakteristik spasial antar daerah (Greene, 2012).

Dalam konteks wilayah dengan keragaman geografis dan sosial ekonomi yang tinggi seperti Pulau Sumatera, asumsi homogenitas ini menjadi kurang realistis. Beberapa studi menunjukkan bahwa pengaruh faktor ekonomi terhadap pengangguran dapat berbeda antarwilayah, sehingga memunculkan kebutuhan akan model yang mampu menjelaskan variasi pengaruh tersebut secara spasial. Hal ini melahirkan pertanyaan riset terbaru mengenai bagaimana memodelkan TPT dengan mempertimbangkan heterogenitas spasial dan dinamika temporal secara bersamaan (Griffith & Anselin, 1989).

Sebagai pengembangan dari regresi global, *Geographically Weighted Regression* (GWR) diperkenalkan untuk menangkap heterogenitas spasial melalui estimasi parameter lokal yang berbeda antar lokasi (Lu et al., 2014). Metode ini memungkinkan hubungan antara variabel independen dan dependen bervariasi secara geografis, sehingga memberikan interpretasi yang lebih kontekstual terhadap fenomena regional.

Integrasi antara regresi data panel dan GWR menghasilkan *Geographically Weighted Panel Regression* (GWPR), yang mampu menangkap variasi spasial sekaligus perubahan temporal dalam satu kerangka analisis (Fotheringham et al., 2002). Dengan menggunakan GWPR, pengaruh faktor-faktor ekonomi terhadap TPT dapat dianalisis secara lokal pada masing-masing kabupaten/kota dan antarperiode waktu, sehingga menjadi pendekatan yang relevan untuk memecahkan permasalahan pengangguran regional di Pulau Sumatera.

Beberapa penelitian nasional menunjukkan bahwa penerapan *Geographically Weighted Panel Regression* mampu memberikan hasil yang lebih akurat dibandingkan model panel klasik dalam memodelkan Tingkat Pengangguran Terbuka (Putra et al., 2023). Studi yang dilakukan oleh peneliti Indonesia menemukan bahwa penggunaan GWPR dengan fungsi pembobot *kernel Gaussian* mampu mengungkap perbedaan pengaruh faktor ekonomi terhadap TPT antarwilayah secara signifikan (Saska & Sifriyani, 2025). Penelitian lain pada jurnal nasional juga menegaskan bahwa pendekatan GWPR lebih efektif dalam menangkap heterogenitas spasial dibandingkan regresi panel global (Ananda et al., 2023).

Pada tingkat internasional, penelitian yang dipublikasikan dalam prosiding ISPRS dan jurnal internasional lainnya menunjukkan bahwa GWPR mampu meningkatkan kualitas estimasi dan interpretasi kebijakan dalam studi ekonomi regional dan ketenagakerjaan (Fotheringham et al., 2002). Temuan-temuan tersebut memperkuat relevansi penggunaan GWPR dalam penelitian ini.

Berdasarkan permasalahan penelitian, tinjauan pustaka, serta kesenjangan penelitian yang telah diidentifikasi, tujuan dari penulisan artikel ini adalah untuk menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi Tingkat Pengangguran Terbuka di Kabupaten/Kota di Pulau Sumatera selama periode 2022–2024 dengan menggunakan pendekatan *Geographically Weighted Panel Regression* (GWPR). Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi empiris dalam memahami variasi spasial dan temporal TPT serta menjadi dasar perumusan kebijakan ketenagakerjaan yang lebih tepat sasaran dan berbasis karakteristik wilayah.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksplanatori, yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh variabel-variabel penjelas terhadap Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT) serta mengidentifikasi variasi pengaruh tersebut secara spasial dan temporal. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder berbentuk data panel yang mencakup dimensi spasial (kabupaten/kota di Pulau Sumatera) dan dimensi temporal (tahun 2022–2024). Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT/Y), Indeks Pembangunan Manusia (IPM/ X_1), Rata-Rata Lama Sekolah (RLS/ X_2), Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (TPAK/ X_3) dan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB/ X_4). PDRB yang digunakan dalam penelitian ini adalah PDRB atas dasar harga konstan (ADHK) tahun dasar 2010 dalam bentuk PDRB per kapita dengan satuan juta rupiah, sehingga dapat mencerminkan tingkat kesejahteraan ekonomi riil masyarakat tanpa dipengaruhi oleh perubahan harga (inflasi). Penelitian ini melibatkan 120 kabupaten/kota di Pulau Sumatera dengan jumlah amatan sebanyak 360 amatan. Pendekatan yang digunakan adalah regresi data panel dan *Geographically Weighted Panel Regression* (GWPR), yang memungkinkan analisis hubungan antarvariabel dilakukan dengan mempertimbangkan dimensi ruang dan waktu secara simultan (Baltagi, 2021)(Fotheringham et al., 2002).

Data diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Republik Indonesia serta publikasi resmi pemerintah daerah. Data koordinat geografis (lintang dan bujur) masing-masing kabupaten/kota digunakan untuk membangun matriks pembobot spasial dalam analisis GWPR.

Adapun langkah-langkah analisis data adalah sebagai berikut:

1. Membentuk model regresi data panel

Secara umum, model regresi data panel dapat dituliskan sebagai berikut:

$$y_{it} = \alpha_{it} + \beta^T X_{it} + \varepsilon_{it}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N, \quad t = 1, 2, 3, \dots, T \quad (1)$$

Terdapat tiga model regresi data panel yaitu:

a. *Common Effect Model* (CEM)

Common Effect Model (CEM), yang juga dikenal sebagai *Pooled Least Squares*, merupakan model regresi data panel yang mengasumsikan bahwa tidak terdapat perbedaan karakteristik antar individu maupun antar waktu. Dengan kata lain, seluruh data panel diperlakukan seolah-olah merupakan data penampang (*cross-section*) biasa yang digabungkan dengan dimensi waktu (Baltagi, 2021). Model CEM dapat dilihat pada Persamaan 2 berikut:

$$y_{ij} = \alpha + \beta_1 x_{1ij} + \dots + \beta_p x_{pij} + \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

b. *Fixed Effect Model* (FEM)

Fixed Effect Model (FEM) dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan CEM dengan mengakomodasi heterogenitas individu yang tidak teramati tetapi bersifat konstan sepanjang waktu. Pada FEM, setiap unit pengamatan (misalnya kabupaten/kota) memiliki intersep yang berbeda, sementara koefisien regresi diasumsikan sama untuk seluruh unit (Permai et al., 2016).

Perbedaan intersep ini mencerminkan karakteristik khusus masing-masing individu yang tidak dapat diukur secara langsung, seperti kondisi geografis, budaya lokal, atau kebijakan daerah yang relatif tetap. FEM sangat cocok digunakan ketika fokus analisis adalah mengamati perubahan dalam satu individu sepanjang waktu. Model FEM dapat dilihat pada Persamaan 3 berikut:

$$y_{ij} = \alpha_i + \beta_1 x_{1it} + \dots + \beta_k x_{kit} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

Estimasi parameter FEM umumnya dilakukan menggunakan pendekatan *within transformation*, yaitu dengan menghilangkan pengaruh intersep individual sehingga estimasi koefisien regresi menjadi bebas dari bias akibat variabel tak teramati yang bersifat tetap.

c. *Random Effect Model* (FEM)

Random Effect Model (REM) merupakan alternatif dari FEM yang mengasumsikan bahwa perbedaan karakteristik antar individu bersifat acak dan tidak berkorelasi dengan variabel independen dalam model. Pada REM, perbedaan antar individu dimodelkan sebagai bagian dari komponen galat.

REM menggabungkan galat individu dan galat idiosinkratik menjadi satu struktur *error* komposit, sehingga memungkinkan estimasi yang lebih efisien dibandingkan FEM apabila asumsi ketidakberkorelasi terpenuhi. Model ini sangat berguna ketika unit pengamatan dianggap sebagai sampel acak dari populasi yang lebih besar (Ragdad Cani & Mendez, 2020).

Secara matematis, model REM dapat dituliskan sebagai:

$$y_{ij} = \alpha_i + \beta_1 x_{1it} + \dots + \beta_k x_{kit} + u_i + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

Dengan u_i menyatakan efek individu acak.

2. Pemilihan model regresi data panel terbaik

Pemilihan model panel terbaik dilakukan menggunakan uji chow, uji hausman, serta uji lagrange multiplier (LM) (Baltagi, 2021).

a. Uji chow

Uji chow digunakan untuk menentukan apakah CEM atau FEM yang lebih tepat digunakan. Uji ini menguji keberadaan perbedaan intersep antar unit pengamatan. Hipotesis untuk uji ini adalah:

H_0 : Model CEM lebih sesuai (tidak ada efek individu)

H_1 : Model FEM lebih sesuai (terdapat efek individu)

Jika *p-value* hasil uji chow $< \alpha$ (0,05), maka H_0 ditolak dan model FEM dipilih. Sebaliknya jika *p-value* $> \alpha$ (0,05), maka CEM dinilai lebih tepat. Statistik uji chow adalah sebagai berikut:

$$RSS = \frac{(RSS_{CEM} - RSS_{FEM}) / (N - 1)}{RSS_{FEM} / (NT - N - K)} \quad (5)$$

b. Uji Hausman

Uji Hausman digunakan untuk memilih antara FEM dan REM dengan menguji ada tidaknya korelasi antara efek individu dan variabel independen. Dengan hipotesis,

H_0 : Model REM lebih sesuai (efek individu tidak berkorelasi antara efek individu dengan variabel independent)

H_1 : Model FEM lebih sesuai (efek individu berkorelasi antara efek individu dengan variabel independent)

Apabila p -value hasil uji hausman $< \alpha$ (0,05), maka H_0 ditolak dan model FEM dipilih. Sebaliknya jika p -value $> \alpha$ (0,05), maka REM dinilai lebih tepat. Statistik uji hausman adalah sebagai berikut:

$$\chi_k^2 = (\hat{\beta}_{FEM} - \hat{\beta}_{REM})^T \left(Var(\hat{\beta}_{FEM} - \hat{\beta}_{REM})^{-1} \right) (\hat{\beta}_{FEM} - \hat{\beta}_{REM})^T \quad (6)$$

c. Uji lagrange multiplier

Uji Lagrange Multiplier (LM) Breusch–Pagan digunakan untuk membandingkan CEM dan REM. Uji ini menguji apakah varians komponen efek acak berbeda dari nol. Dengan hipotesis,

H_0 : Model CEM lebih sesuai (tidak terdapat efek acak)

H_1 : Model REM lebih sesuai (terdapat efek acak)

Jika p -value uji LM $< \alpha$ (0,05), maka H_0 ditolak dan model REM dipilih. Sebaliknya jika p -value $> \alpha$ (0,05), maka CEM dinilai lebih tepat. Statistik uji LM adalah sebagai berikut:

$$LM = \frac{NT}{2(T-1)} \left[\frac{\sum_{i=1}^N (\varepsilon_{it})^2}{\sum_{i=1}^N \varepsilon_{it}^2} - 1 \right]^2 \quad (7)$$

3. Pengujian heterogenitas spasial

Heterogenitas spasial muncul akibat adanya perbedaan karakteristik antar wilayah pengamatan. Oleh karena itu, pengujian terhadap heterogenitas spasial perlu dilakukan untuk memastikan bahwa model yang digunakan menghasilkan estimasi parameter yang efisien serta kesimpulan yang valid (Permai et al., 2016). Salah satu metode yang umum digunakan untuk mendeteksi adanya pengaruh heterogenitas spasial adalah uji *Breusch–Pagan* (BP), dengan hipotesis:

H_0 : $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_n^2 = \sigma^2$ (tidak terjadi heterogenitas spasial)

H_1 : sekurang-kurangnya terdapat satu $\sigma_1^2 \neq \sigma^2$

$$BP = \left(\frac{1}{2} \right) \mathbf{f}^T \mathbf{Z} (\mathbf{Z}^T \mathbf{Z})^{-1} \mathbf{Z}^T \mathbf{f} \quad (8)$$

4. Pembobotan kernel

Langkah selanjutnya adalah pembobotan spasial menggunakan fungsi kernel. Fungsi kernel adalah fungsi pembobotan yang dipakai dalam mengestimasi paramater dalam model GWR. Data dengan jarak yang lebih dekat dengan titik regresi akan diberi bobot lebih dibanding dengan data yang lebih jauh jaraknya. Penelitian ini menggunakan pendekatan *adaptive kernel bisquare*. Adapun bentuk umumnya dapat dilihat pada Persamaan 9.

$$w_{ij} = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{d_{ij}}{h_{i(p)}} \right)^2 \right)^2, & \text{untuk } d_{ij} \leq h_{i(p)} \\ 0, & \text{untuk } d_{ij} > h_{i(p)} \end{cases} \quad (9)$$

Setelah itu, nilai *Cross Validation* (CV) fungsi pembobot diperiksa untuk menentukan *bandwidth optimum* dapat dilihat pada Persamaan 10.

$$V(h) = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{\neq 1}(h))^2 \quad (10)$$

5. Pembentukan model GWPR

Langkah selanjutnya adalah pembentukan model GWPR, yang dapat dituliskan pada Persamaan 11 berikut:

$$y_{it} = \beta_0(u_i, v_i) \sum_{k=1}^p \beta_0(u_i, v_i) x_{itk} + \varepsilon_{it}, \quad i = 1, 2, \dots, \text{ dan } t = 1, 2, \dots, T \quad (11)$$

6. Pengujian model GWPR

a. Uji kesesuaian model GWPR (*goodness of fit*)

Uji kesesuaian model GWPR dilakukan dengan menguji kesesuaian parameter secara serentak, dengan hipotesis sebagai berikut:

H₀: Tidak terdapat perbedaan antara model regresi global dengan GWPR

H₁: Terdapat perbedaan antara model regresi global dengan GWPR

Jika *p-value* yang dihasilkan < α (0,05) maka tolak H₀. Dapat dihitung menggunakan Persamaan 12 berikut:

$$F = \frac{RSS_{GWPR}/df_1}{RSS_{Global}/df_2} \quad (12)$$

b. Uji parameter model GWPR

Uji ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh signifikansi parameter secara parsial. Hipotesis uji ini adalah sebagai berikut:

H₀: $\beta_k(u_i, v_i) = 0$

H₁: Minimal ada satu tidak sama dengan nol

Jika *p-value* yang dihasilkan < α (0,05) maka tolak H₀. Dapat dihitung menggunakan Persamaan 13 berikut:

$$T = \frac{\hat{\beta}_k(u_{ij}, v_{ij})}{\hat{\sigma} \sqrt{C_{kk}}} \quad (13)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Statistika Deskriptif

Tabel 1 berikut menyajikan deskripsi variabel penelitian.

Tabel 1. Statistika Deskriptif Variabel Penelitian

Variabel	Min	Mean	Max
TPT (Y)	0,26	4,494	11,69
IPM (X ₁)	63,96	73,95	88,85
RLS (X ₂)	5,880	9,105	13,1
TPAK (X ₃)	56,37	70	86,89
PDRB (X ₄)	909,6	16.986,5	182.242,6

Berdasarkan Tabel 1, diperoleh bahwa Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT) memiliki nilai minimum sebesar 0,26 persen dan maksimum sebesar 11,69 persen dengan rata-rata 4,494 persen. Variabel IPM memiliki rata-rata sebesar 73,95 dengan rentang nilai 63,96 hingga 88,85. Variabel RLS memiliki nilai rata-rata 9,105 tahun, sedangkan TPAK memiliki rata-rata sebesar 70 persen. Variabel PDRB menunjukkan rentang nilai yang cukup besar yaitu 909,6 hingga 182.242,6.

Pembentukan Model Regresi Data Panel

Estimasi parameter model regresi data panel menggunakan pendekatan CEM, FEM, dan REM disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Estimasi Parameter Model Regresi Data Panel

Variabel	CEM		FEM		REM	
	Koefisien	<i>p-value</i>	Koefisien	<i>p-value</i>	Koefisien	<i>p-value</i>
IPM (X ₁)	0,034	0,455	-0,008	0,898	0,034	0,477
RLS (X ₂)	0,473	2×10^{-16}	0,414	0,029	0,461	0,001
TPAK (X ₃)	-0,140	2×10^{-16}	-0,126	2×10^{-16}	-0,139	0,000
PDRB (X ₄)	0,001	0,033	0,001	2×10^{-16}	0,001	0,002

Berdasarkan Tabel 2, diketahui variabel TPAK memberikan pengaruh negatif pada model. Artinya variabel TPAK memiliki hubungan yang berbanding terbalik dengan variabel

TPT. sementara itu variabel IPM, RLS, dan PDRB memiliki pengaruh positif pada model. Setelah model diperoleh, dilakukan pemilihan model terbaik.

Pemilihan Model Terbaik Regresi Data Panel

Hasil uji Chow dan uji Hausman ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pemilihan Model Terbaik Regresi Data Panel

Uji	<i>p-value</i>	Kesimpulan
Uji Chow	0,00001	Model FEM lebih baik daripada CEM
Uji Hausman	2×10^{-16}	Model FEM lebih baik daripada REM

Berdasarkan Tabel 3, diperoleh kesimpulan bahwa model FEM lebih tepat digunakan. Pada uji serentak, diperoleh $p\text{-value} < \alpha$ (0,05), artinya secara serentak IPM, RLS, TPAK, dan PDRB berpengaruh terhadap TPT. Sementara itu, untuk uji parsial variabel IPM tidak berpengaruh terhadap TPT sehingga harus di eliminasi dari model, sehingga model FEM adalah sebagai berikut:

$$\hat{y}_{it} = 0,414x_{2,it} - 0,126x_{3,it} + 0,001x_{4,it}$$

Berdasarkan hasil FEM diatas, RLS, TPAK, dan PDRB berpengaruh terhadap TPT. Model yang diperoleh menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu satuan pada RLS akan meningkatkan nilai prediksi TPT sebesar 0,414. Selanjutnya, TPAK memiliki pengaruh negatif, di mana setiap kenaikan satu satuan pada variabel tersebut akan menurunkan nilai prediksi TPT sebesar 0,126. Sementara itu, PDRB memberikan pengaruh positif yang relatif kecil, di mana setiap peningkatan satu satuan pada variabel tersebut akan meningkatkan nilai prediksi TPT sebesar 0,001, dengan asumsi variabel lainnya tetap.

Pengujian Heterogenitas Spasial

Pengujian heterogenitas spasial pada model regresi data panel dilakukan menggunakan uji Breusch–Pagan, yang pada dasarnya digunakan untuk mendeteksi adanya heteroskedastisitas dalam model regresi. Dalam konteks data spasial, heteroskedastisitas dapat diinterpretasikan sebagai indikasi adanya ketidakhomogenan varians residual antarwilayah, yang mencerminkan adanya heterogenitas spasial. Dengan demikian, apabila hasil uji Breusch–Pagan menunjukkan adanya heteroskedastisitas, maka hal tersebut mengindikasikan bahwa hubungan antarvariabel tidak bersifat konstan di seluruh wilayah, sehingga pendekatan model global menjadi kurang memadai dan pendekatan lokal seperti Geographically Weighted Panel Regression (GWPR) lebih tepat digunakan.

Hasil pengujian heterogenitas spasial pada model regresi data panel dapat dilihat pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4. Pengujian Heterogenitas Spasial

Uji	BP	df	<i>p-value</i>
Breusch Pagan	17,108	4	0,00018

Berdasarkan Tabel 4, diperoleh nilai *p-value* yang lebih kecil dari tingkat signifikansi 0,05, sehingga hipotesis nol ditolak. Hasil ini mengindikasikan adanya heterogenitas spasial pada data TPT di Pulau Sumatera. Dengan demikian, penggunaan regresi data panel berbasis FEM dinilai kurang mampu menangkap variasi spasial antarwilayah. Oleh karena itu, penelitian ini selanjutnya menggunakan pendekatan GWPR untuk memodelkan data tersebut.

Pembobotan Kernel

Estimasi parameter pada model GWPR dilakukan menggunakan metode *Weighted Least Squares* (WLS), di mana bobot ditentukan berdasarkan kedekatan geografis yang direpresentasikan oleh koordinat lintang dan bujur masing-masing wilayah. Tahapan awal dalam pemodelan GWPR dengan pendekatan within estimator diawali dengan penentuan fungsi pembobot dan pemilihan *bandwidth* yang optimal. *Bandwidth* dipilih berdasarkan nilai *cross-validation* (CV) terkecil, Selanjutnya, Tabel 5 menampilkan nilai bandwidth beserta nilai CV yang dihasilkan untuk setiap fungsi pembobot yang digunakan dalam model GWPR.

Tabel 5. Pembobotan Kernel

Fungsi Pembobot	<i>Bandwidth</i>	CV
Bisquare	21	181,70

Berdasarkan hasil pemilihan fungsi pembobot, fungsi Bisquare menghasilkan bandwidth optimal sebesar 21 dengan nilai CV sebesar 181,70. Nilai CV yang paling kecil menunjukkan bahwa fungsi pembobot Bisquare dengan bandwidth tersebut memberikan kinerja terbaik dalam memodelkan TPT menggunakan pendekatan GWPR. *Bandwidth adaptif* sebesar 21 mengindikasikan bahwa estimasi parameter pada setiap wilayah dipengaruhi oleh 21 wilayah terdekat, sehingga model mampu menangkap variasi hubungan antar variabel secara lokal. Dengan demikian, penggunaan fungsi pembobot Bisquare dinilai paling sesuai karena mampu memberikan keseimbangan antara ketepatan model dan kompleksitas spasial, serta mencerminkan adanya heterogenitas spasial antarwilayah pengamatan.

Uji Kecocokan Model

Untuk mengetahui adanya perbedaan antara model regresi data panel dan GWPR digunakan uji F seperti pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6. Uji Kecocokan Model

Hasil	Kesimpulan
F= 85,54, <i>p-value</i> =0,000 R-square = 96,8%	H ₀ ditolak

Tabel 6 menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara regresi data panel dengan GWPR. Model GWPR diperoleh baik digunakan. Model yang dihasilkan GWPR memiliki R² sebesar 96,8% yang artinya variabel independent mampu menjelaskan model sebesar 96,8%.

Selanjutnya uji parsial parameter untuk setiap kabupaten/kota yang disajikan pada Tabel 7 berikut:

Tabel 7. Variabel Signifikan di Setiap Kabupaten/Kota

Jumlah Kabupaten/Kota	Variabel yang Signifikan
7	IPM (X ₁), RLS (X ₂)
3	IPM (X ₁), RLS (X ₂), TPAK (X ₃)
24	IPM (X ₁), RLS (X ₂), TPAK (X ₃), PDRB (X ₄)
22	IPM (X ₁), RLS (X ₂), PDRB (X ₄)
5	IPM (X ₁), TPAK (X ₃),
4	IPM (X ₁), TPAK (X ₃), PDRB (X ₄)
5	RLS (X ₂)
2	RLS (X ₂), TPAK (X ₃)

Jumlah Kabupaten/Kota	Variabel yang Signifikan
8	RLS (X_2), TPAK (X_3), PDRB (X_4)
6	RLS (X_2), PDRB (X_4)
12	TPAK (X_3)
14	TPAK (X_3), PDRB (X_4)
21	PDRB (X_4)
20	Tidak terdapat variabel signifikan

Tabel 7, menunjukkan bahwa faktor-faktor yang memengaruhi TPT di Pulau Sumatera bersifat bervariasi antar kabupaten/kota. Temuan ini menegaskan adanya heterogenitas spasial, di mana pengaruh RLS, TPAK, dan PDRB terhadap TPT tidak seragam di seluruh wilayah.

Estimasi model GWPR

Contoh salah satu model yang terbentuk adalah di Kabupaten Solok Selatan. Berikut model GWPR dengan pendekatan FEM di Kabupaten Solok Selatan.

$$\hat{y}_{66t} = -0,833x_{1,66t} + 4,488x_{2,66t} + 0,364x_{3,66t} + 0,001x_{4,66t}$$

Berdasarkan hasil FEM di atas, koefisien IPM (X_1) bernilai negatif sebesar $-0,833$ yang menunjukkan bahwa peningkatan Indeks Pembangunan Manusia sebesar satu poin mampu menurunkan TPT sebesar $0,833$ persen, sehingga kualitas pembangunan manusia yang lebih baik dapat meningkatkan kemampuan dan daya saing tenaga kerja. Sementara itu, RLS (X_2) memiliki koefisien positif terbesar yaitu $4,488$, yang mengindikasikan bahwa peningkatan tingkat pendidikan justru diikuti kenaikan TPT, diduga akibat ketidaksesuaian antara kualifikasi pendidikan dengan ketersediaan lapangan kerja atau fenomena pengangguran terdidik. Variabel TPAK (X_3) juga berpengaruh positif sebesar $0,364$, yang berarti meningkatnya jumlah penduduk yang masuk ke pasar kerja tanpa diimbangi penciptaan kesempatan kerja dapat meningkatkan pengangguran. Adapun PDRB (X_4) memiliki pengaruh positif sangat kecil sebesar $0,001$ terhadap TPT, yang menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi di wilayah tersebut belum sepenuhnya bersifat padat karya sehingga peningkatan aktivitas ekonomi belum mampu secara signifikan menurunkan tingkat pengangguran. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa dinamika pengangguran di Kabupaten Solok Selatan lebih dipengaruhi oleh tekanan pasar kerja dan ketidaksesuaian pendidikan dibandingkan oleh pertumbuhan ekonomi regional.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor-faktor yang memengaruhi Tingkat Pengangguran Terbuka di Pulau Sumatera tidak bersifat homogen antarwilayah. Variasi nilai TPT yang cukup besar pada analisis deskriptif mengindikasikan adanya ketimpangan kondisi pasar tenaga kerja antar kabupaten/kota.

Terpilihnya model FEM pada tahap regresi panel menunjukkan bahwa karakteristik spesifik wilayah memiliki kontribusi penting dalam menjelaskan variasi pengangguran. Faktor yang tidak teramati seperti struktur ekonomi daerah, kebijakan ketenagakerjaan lokal, serta kondisi geografis kemungkinan memengaruhi tingkat pengangguran secara konsisten sepanjang periode pengamatan.

Pengaruh positif RLS terhadap TPT mengindikasikan adanya fenomena *educated unemployment*, yaitu peningkatan tingkat pendidikan yang tidak diikuti oleh ketersediaan

lapangan kerja yang sesuai dengan kualifikasi tenaga kerja. Kondisi ini menunjukkan adanya ketidaksesuaian antara output pendidikan dan kebutuhan pasar kerja regional.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa RLS berpengaruh positif terhadap TPT. Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan tingkat pendidikan tidak selalu diikuti dengan peningkatan penyerapan tenaga kerja. Kondisi ini dapat terjadi ketika jumlah tenaga kerja terdidik meningkat lebih cepat dibandingkan dengan ketersediaan lapangan pekerjaan yang sesuai dengan kualifikasi mereka.

Secara teoritis, fenomena ini sejalan dengan teori *mismatch* tenaga kerja, di mana terdapat ketidaksesuaian antara keterampilan tenaga kerja dengan kebutuhan pasar kerja (Todaro & Smith, 2015). Hasil penelitian ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Sifriyani et al. (2022) yang menemukan bahwa peningkatan tingkat pendidikan di beberapa wilayah justru diikuti oleh meningkatnya pengangguran terdidik akibat keterbatasan kesempatan kerja yang sesuai.

Sebaliknya, TPAK menunjukkan pengaruh negatif terhadap TPT. Hal ini menandakan bahwa meningkatnya keterlibatan penduduk usia kerja dalam aktivitas ekonomi mampu menekan tingkat pengangguran melalui peningkatan kesempatan kerja maupun aktivitas sektor informal.

Variabel TPAK menunjukkan pengaruh negatif terhadap TPT. Hal ini berarti bahwa semakin tinggi tingkat partisipasi masyarakat dalam pasar kerja, maka tingkat pengangguran cenderung menurun.

Hasil ini sejalan dengan teori pasar tenaga kerja yang menyatakan bahwa peningkatan partisipasi angkatan kerja biasanya diikuti dengan meningkatnya aktivitas ekonomi dan penyerapan tenaga kerja (Becker & Ichino, 2002). Temuan ini juga konsisten dengan penelitian Putra et al. (2023) yang menunjukkan bahwa TPAK memiliki hubungan negatif dengan pengangguran karena meningkatnya partisipasi kerja mencerminkan adanya peluang kerja yang lebih besar di suatu wilayah.

PDRB dalam penelitian ini menunjukkan pengaruh positif terhadap TPT, meskipun dengan nilai koefisien yang relatif kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan aktivitas ekonomi tidak selalu secara langsung menurunkan tingkat pengangguran.

Fenomena tersebut dapat terjadi karena pertumbuhan ekonomi yang terjadi bersifat capital intensive, yaitu lebih banyak menggunakan modal dibandingkan tenaga kerja sehingga tidak secara signifikan meningkatkan penyerapan tenaga kerja. Hasil ini sejalan dengan penelitian Ananda et al. (2023) yang menemukan bahwa pertumbuhan ekonomi di beberapa wilayah tidak selalu diikuti oleh penurunan tingkat pengangguran.

Hasil uji heterogenitas spasial menegaskan bahwa hubungan antarvariabel berbeda secara geografis. Kondisi ini memperlihatkan adanya *spatial non-stationarity* sehingga penggunaan model global menjadi kurang representatif. Temuan ini mendukung konsep *spatial heterogeneity* yang dikemukakan oleh Fotheringham et al. (2002), yaitu bahwa hubungan antarvariabel dalam fenomena sosial ekonomi sering kali tidak bersifat seragam secara geografis. Oleh karena itu, penggunaan pendekatan GWPR menjadi lebih relevan dibandingkan model regresi global.

Penerapan GWPR mampu menangkap variasi pengaruh variabel secara lokal dan menghasilkan peningkatan kinerja model yang ditunjukkan oleh nilai R^2 sebesar 96,8%. Nilai R^2 sebesar 96,8% menunjukkan bahwa model GWPR mampu menjelaskan variasi TPT dengan sangat baik. Hasil ini juga menunjukkan bahwa pendekatan spasial memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan model regresi panel global.

Temuan ini konsisten dengan penelitian Lu et al. (2014) dan Saska & Sifriyani (2025) yang menyatakan bahwa model berbasis spasial seperti GWPR mampu menangkap variasi lokal antarwilayah sehingga menghasilkan estimasi yang lebih akurat.

Perbedaan variabel signifikan antar kabupaten/kota menunjukkan bahwa determinan pengangguran dipengaruhi oleh karakteristik ekonomi lokal. Wilayah dengan dominasi pengaruh pendidikan membutuhkan peningkatan kesesuaian antara kompetensi tenaga kerja dan kebutuhan industri, sedangkan wilayah dengan dominasi TPAK memerlukan perluasan kesempatan kerja produktif.

Selain itu, keberadaan wilayah tanpa variabel signifikan mengindikasikan bahwa faktor lain seperti migrasi tenaga kerja, urbanisasi, struktur sektor ekonomi, maupun investasi daerah berpotensi memengaruhi tingkat pengangguran namun belum tercakup dalam model penelitian.

Secara keseluruhan, hasil GWPR menegaskan bahwa kebijakan penanggulangan pengangguran di Pulau Sumatera perlu disusun secara berbasis wilayah (*place-based policy*), karena setiap daerah memiliki determinan pengangguran yang berbeda.

PENUTUP

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa faktor-faktor yang memengaruhi Tingkat Pengangguran Terbuka di kabupaten/kota Pulau Sumatera pada periode 2022–2024 tidak bersifat homogen antar wilayah. Hasil pemilihan model menunjukkan bahwa *Fixed Effect Model* merupakan model regresi data panel terbaik, namun pengujian heterogenitas spasial mengindikasikan adanya variasi spasial yang signifikan sehingga model panel global belum sepenuhnya mampu menjelaskan fenomena yang terjadi.

Penerapan *Geographically Weighted Panel Regression* (GWPR) dengan fungsi pembobot *adaptive kernel bisquare* mampu menangkap variasi pengaruh variabel independen terhadap TPT secara lokal. Variabel Rata-rata Lama Sekolah dan Produk Domestik Regional Bruto cenderung berpengaruh positif terhadap TPT, sedangkan Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja berpengaruh negatif, dengan tingkat pengaruh yang berbeda antar kabupaten/kota.

Model GWPR menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan model regresi panel global, yang ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 96,8%, yang lebih tinggi dibandingkan model panel global.

Temuan ini menunjukkan bahwa kebijakan penanggulangan pengangguran perlu disusun secara spesifik wilayah dengan mempertimbangkan karakteristik spasial dan kondisi sosial ekonomi lokal, sehingga intervensi kebijakan dapat lebih efektif dan tepat sasaran.

Namun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, antara lain periode pengamatan yang relatif pendek, yaitu hanya mencakup tiga tahun (2022–2024), sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan dinamika jangka panjang. Selain itu, terdapat potensi multikolinearitas antara variabel Indeks Pembangunan Manusia (IPM) dan Rata-rata Lama Sekolah (RLS) yang dapat memengaruhi kestabilan estimasi model. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan periode data yang lebih panjang serta mempertimbangkan pemilihan atau transformasi variabel guna meminimalkan masalah multikolinearitas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Pusat Statistik Republik Indonesia atas ketersediaan data yang digunakan dalam penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan akademik dan masukan yang bermanfaat dalam penyusunan artikel ini.

REFERENSI

- Ananda, N. M. S., Suyitno, S., & Siringoringo, M. (2023). Geographically Weighted Panel Regression Modelling of Human Development Index Data in East Kalimantan Province in 2017-2020. *Jurnal Matematika, Statistika dan Komputasi*, 19(2), 323–341. <https://doi.org/10.20956/j.v19i2.23775>
- Baltagi, B. H. (2021). *Econometric Analysis of Panel Data (6th ed.)*. Springer.
- Becker, S. O., & Ichino, A. (2002). *Estimation of average treatment effects based on propensity scores*. 4, 358–377.
- Chen, B., Hsu, M., & Lai, C. (2016). Relation between growth and unemployment in a model with labor-force participation and adverse labor institutions R. *Journal of Macroeconomics*, 50, 273–292. <https://doi.org/10.1016/j.jmacro.2016.10.004>
- Fotheringham, A. S., Brunson, C., & Charlton, M. (2002). *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying relationships*.
- Greene, W. W. H. . (2012). *Econometric analysis 7th Ed.* In *Prentice Hall* (Vol. 97).
- Griffith, D. A., & Anselin, L. (1989). Spatial Econometrics: Methods and Models. *Economic Geography*, 65(2), 160. <https://doi.org/10.2307/143780>
- Lu, B., Charlton, M., Harris, P., & Fotheringham, A. S. (2014). Geographically weighted regression with a non-Euclidean distance metric: A case study using hedonic house price data. *International Journal of Geographical Information Science*, 28(4), 660–681. <https://doi.org/10.1080/13658816.2013.865739>
- Permai, S. D., Tanty, H., & Rahayu, A. (2016). Geographically weighted regression analysis for human development index. *AIP Conference Proceedings*, 1775. <https://doi.org/10.1063/1.4965165>
- Putra, J. D., Fitria, D., Vionanda, D., & Salma, A. (2023). *Geographically Weighted Panel Regression for Modeling The Percentage of Poor Population in West Sumatera*. 1(2005), 211–217.
- Ragdad Cani, M., & Mendez, C. (2020). Human Development Disparities and Convergence across Districts of Indonesia: A Spatial Econometric Approach. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3675338>
- Saska, I., & Sifriyani. (2025). Implementation of Geographically Weighted Panel Regression With Gaussian Kernel Weighting Function in the Open Unemployment Rate Model. *Barekeng*, 19(2), 733–742. <https://doi.org/10.30598/barekengvol19iss2pp733-742>
- Sifriyani, S., 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*. August 2021.
- Statistik, B. P. (2025). *Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT) sebesar 4,85 persen. Rata-rata upah buruh sebesar 3,33 juta rupiah*.
- Todaro, M. P., & Smith, S. C. (2015). *Economic Development*. Pearson.