

Pemodelan Spasial Pengangguran Terdidik di Sumatera Utara Menggunakan *Multiscale Geographically Weighted Regression*

Sarah Tri Puji Florensia Sihombing^{1*}, Aviolla Terza Damaliana², Wahyu Syaifullah³

^{1,2,3}Sains Data, Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Email: ¹22083010020@student.upnjatim.ac.id, ²aviolla.terza.sada@upnjatim.ac.id,

³wahyu.s.j.saputra.if@upnjatim.ac.id

*Penulis Korespondensi

Abstract— Educated unemployment remains one of the major challenges in labor market development in Indonesia. This phenomenon reflects the mismatch between the educational attainment of the workforce and the availability of employment opportunities, as well as regional disparities in economic development. This study aims to analyze the spatial pattern of educated unemployment and identify the socio-economic factors influencing it in North Sumatra Province. The methods used in this study include Local Indicators of Spatial Association (LISA) to identify spatial clustering patterns and Multiscale Geographically Weighted Regression (MGWR) to model the influence of socio-economic variables on educated unemployment. The data used are secondary data obtained from the Central Bureau of Statistics (BPS) covering 33 districts/cities in North Sumatra Province. The variables examined include the Human Development Index (HDI), Gross Regional Domestic Product (GRDP) per capita, poverty rate, Labor Force Participation Rate (LFPR), and mean years of schooling. The Moran's I analysis indicates a positive spatial autocorrelation with a value of 0.4307 and a p-value of 0.002, suggesting that the distribution of educated unemployment is not random but spatially clustered. The LISA analysis reveals the presence of High-High and Low-Low clusters, indicating areas with concentrated levels of educated unemployment. The modeling results show that the MGWR model provides the best performance, with an Adjusted R² of 0.6226 and an RMSE of 1.2816, outperforming the OLS and GWR models in explaining spatial variations in educated unemployment. These findings indicate that the MGWR approach is more effective in capturing spatial heterogeneity and can provide a more comprehensive understanding of the spatial dynamics of educated unemployment. Therefore, the results of this study can serve as a basis for developing region-based employment policies in North Sumatra Province.

Intisari— Tingkat pengangguran terdidik merupakan salah satu permasalahan ketenagakerjaan yang masih menjadi tantangan dalam pembangunan ekonomi di Indonesia. Fenomena ini menunjukkan adanya ketidaksesuaian antara tingkat pendidikan tenaga kerja dengan ketersediaan lapangan pekerjaan serta ketimpangan pembangunan antar wilayah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola spasial tingkat pengangguran terdidik serta mengidentifikasi faktor-faktor sosial ekonomi yang memengaruhinya di Provinsi Sumatera Utara. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Local Indicators of Spatial Association (LISA) untuk mengidentifikasi pola kluster spasial dan Multiscale Geographically Weighted Regression (MGWR) untuk memodelkan pengaruh variabel sosial ekonomi terhadap tingkat pengangguran terdidik. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) yang mencakup 33 kabupaten/kota di Provinsi Sumatera Utara dengan variabel penelitian meliputi Indeks Pembangunan Manusia (IPM), Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) per kapita, tingkat kemiskinan, Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (TPAK), dan rata-rata lama sekolah.

Hasil analisis Moran's I menunjukkan adanya autokorelasi spasial positif dengan nilai 0,4307 dan p-value sebesar 0,002 yang menunjukkan bahwa distribusi pengangguran terdidik tidak bersifat acak. Analisis LISA menunjukkan adanya kluster wilayah dengan kategori High-High dan Low-Low yang menggambarkan konsentrasi pengangguran terdidik pada wilayah tertentu. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa model MGWR memiliki performa terbaik dengan nilai Adjusted R² sebesar 0,6226 dan RMSE sebesar 1,2816, sehingga lebih mampu menjelaskan variasi spasial tingkat pengangguran terdidik dibandingkan model OLS dan GWR. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan MGWR lebih efektif dalam memodelkan fenomena pengangguran terdidik yang memiliki heterogenitas spasial sehingga dapat menjadi dasar dalam perumusan kebijakan ketenagakerjaan berbasis wilayah.

Kata Kunci— Pengangguran Terdidik, Analisis Spasial, LISA, MGWR.

I. PENDAHULUAN

Pengangguran merupakan salah satu indikator penting dalam menilai kondisi sosial ekonomi suatu negara maupun wilayah. Tingginya tingkat pengangguran menunjukkan adanya ketidakseimbangan antara jumlah angkatan kerja dan ketersediaan lapangan pekerjaan yang mampu menyerap tenaga kerja. Kondisi ini tidak hanya berdampak pada menurunnya produktivitas ekonomi, tetapi juga dapat menimbulkan berbagai permasalahan sosial seperti meningkatnya tingkat kemiskinan, ketimpangan pendapatan, serta potensi ketidakstabilan sosial di masyarakat. Oleh karena itu, pengangguran menjadi salah satu isu strategis yang perlu diperhatikan dalam perencanaan pembangunan ekonomi dan ketenagakerjaan.

Di Indonesia, permasalahan pengangguran masih menjadi tantangan yang cukup kompleks, terutama pada kelompok tenaga kerja berpendidikan menengah hingga tinggi yang dikenal sebagai pengangguran terdidik. Secara teoritis, tingkat pendidikan yang lebih tinggi seharusnya meningkatkan peluang seseorang untuk memperoleh pekerjaan yang layak. Namun dalam praktiknya, kelompok lulusan SMA, diploma, maupun sarjana masih menjadi salah satu penyumbang terbesar dalam tingkat pengangguran terbuka. Kondisi ini menunjukkan adanya ketidaksesuaian antara kompetensi lulusan pendidikan dengan kebutuhan dunia kerja atau yang sering disebut sebagai skill mismatch dalam pasar tenaga kerja.

Berdasarkan data Survei Angkatan Kerja Nasional (Sakernas) yang dirilis oleh Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah angkatan kerja di Indonesia terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Pada tahun 2024 jumlah angkatan kerja tercatat lebih dari 148 juta orang dan terus

meningkat pada periode berikutnya. Meskipun demikian, peningkatan jumlah tenaga kerja tersebut tidak selalu diikuti oleh peningkatan jumlah lapangan pekerjaan yang tersedia. Hal ini menyebabkan tingkat pengangguran terbuka masih berada pada tingkat yang cukup signifikan. Selain itu, distribusi kesempatan kerja juga tidak merata di setiap wilayah sehingga menimbulkan ketimpangan tingkat pengangguran antar daerah.

Fenomena tersebut juga terjadi di Provinsi Sumatera Utara. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, jumlah angkatan kerja di provinsi ini terus meningkat setiap tahun, namun tingkat pengangguran terbuka masih relatif tinggi dibandingkan dengan rata-rata nasional. Selain itu, distribusi pengangguran antar kabupaten/kota di provinsi ini menunjukkan pola yang tidak merata. Beberapa wilayah memiliki tingkat pengangguran yang relatif tinggi, sedangkan wilayah lainnya memiliki tingkat pengangguran yang lebih rendah. Ketimpangan tersebut menunjukkan bahwa faktor-faktor sosial ekonomi yang memengaruhi pengangguran kemungkinan berbeda pada setiap wilayah.

Perbedaan karakteristik sosial ekonomi suatu wilayah dapat memengaruhi kemampuan daerah dalam menyerap tenaga kerja, khususnya tenaga kerja terdidik. Faktor-faktor seperti Indeks Pembangunan Manusia (IPM), Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) per kapita, tingkat kemiskinan, Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (TPAK), dan rata-rata lama sekolah (RLS) merupakan indikator yang sering digunakan untuk menggambarkan kondisi pembangunan suatu wilayah. Variabel-variabel tersebut dapat memengaruhi dinamika pasar tenaga kerja dan tingkat pengangguran di suatu daerah. Namun demikian, pengaruh masing-masing variabel tersebut tidak selalu bersifat sama di setiap wilayah karena adanya perbedaan kondisi geografis, struktur ekonomi, serta tingkat pembangunan daerah.

Dalam beberapa penelitian sebelumnya, analisis spasial telah banyak digunakan untuk memahami fenomena sosial ekonomi yang memiliki keterkaitan antarwilayah. Metode *Local Indicators of Spatial Association* (LISA) digunakan untuk mengidentifikasi pola keterkaitan spasial dan kluster antarwilayah, sedangkan metode *Geographically Weighted Regression* (GWR) digunakan untuk menganalisis variasi hubungan antarvariabel berdasarkan lokasi geografis. Namun demikian, metode GWR masih memiliki keterbatasan karena menggunakan satu skala spasial yang sama untuk seluruh variabel dalam model. Padahal dalam kenyataannya, setiap variabel dapat memiliki skala pengaruh spasial yang berbeda.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, dikembangkan metode *Multiscale Geographically Weighted Regression* (MGWR) yang memungkinkan setiap variabel independen memiliki bandwidth atau skala pengaruh spasial yang berbeda. Dengan pendekatan ini, MGWR mampu menangkap heterogenitas spasial secara lebih fleksibel dibandingkan model regresi global maupun GWR. Oleh karena itu, metode MGWR dinilai lebih tepat untuk digunakan dalam menganalisis hubungan antara faktor-faktor sosial ekonomi dengan tingkat pengangguran terdidik yang memiliki karakteristik spasial yang kompleks.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola spasial tingkat pengangguran terdidik di Provinsi Sumatera Utara serta mengidentifikasi faktor-

faktor sosial ekonomi yang memengaruhinya menggunakan pendekatan *Local Indicators of Spatial Association* (LISA) dan *Multiscale Geographically Weighted Regression* (MGWR). Selain itu, penelitian ini juga membandingkan kinerja model MGWR dengan model regresi global *Ordinary Least Squares* (OLS) dan *Geographically Weighted Regression* (GWR) untuk menentukan model yang paling efektif dalam menjelaskan variasi spasial tingkat pengangguran terdidik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai pola dan faktor penyebab pengangguran terdidik serta menjadi dasar dalam perumusan kebijakan ketenagakerjaan berbasis wilayah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan Pustaka pada penelitian ini berisi konsep-konsep utama yang menjadi dasar dalam pengembangan model spasial dalam penelitian ini.

A. Pengangguran Terdidik

Pengangguran merupakan kondisi ketika seseorang yang termasuk dalam angkatan kerja tidak memiliki pekerjaan tetapi sedang aktif mencari pekerjaan. Salah satu indikator yang sering digunakan untuk mengukur kondisi tersebut adalah Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT). Dalam konteks penelitian ini, fokus utama adalah pengangguran terdidik, yaitu penduduk yang memiliki tingkat pendidikan minimal SMA atau sederajat hingga perguruan tinggi namun belum memperoleh pekerjaan.

Pengangguran terdidik sering terjadi akibat ketidaksesuaian antara jumlah lulusan pendidikan dengan ketersediaan lapangan pekerjaan. Selain itu, faktor lain seperti ketimpangan pembangunan ekonomi, keterbatasan kesempatan kerja, serta ketidaksesuaian keterampilan dengan kebutuhan industri juga turut memengaruhi tingginya angka pengangguran terdidik. Fenomena ini menunjukkan bahwa permasalahan pengangguran tidak hanya dipengaruhi oleh faktor ekonomi secara umum, tetapi juga berkaitan dengan kondisi sosial ekonomi dan karakteristik wilayah tertentu.

Dalam penelitian ini, tingkat pengangguran terdidik dipengaruhi oleh beberapa faktor sosial ekonomi, yaitu Indeks Pembangunan Manusia (IPM), Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) per kapita, tingkat kemiskinan, Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (TPAK), serta rata-rata lama sekolah (RLS). Variabel-variabel tersebut digunakan sebagai indikator yang menggambarkan kondisi pembangunan manusia, tingkat kesejahteraan, dan partisipasi masyarakat dalam aktivitas ekonomi suatu wilayah.

B. Analisis Spasial

Analisis spasial merupakan metode analisis yang digunakan untuk mengkaji fenomena berdasarkan dimensi geografis atau lokasi. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi pola distribusi suatu fenomena di ruang geografis serta memahami keterkaitan antarwilayah yang saling memengaruhi. Dalam kajian sosial ekonomi, analisis spasial sering digunakan untuk meneliti fenomena yang memiliki keterkaitan geografis, seperti kemiskinan, pembangunan ekonomi, maupun pengangguran. Dengan menggunakan analisis spasial, peneliti dapat mengetahui

apakah suatu fenomena terjadi secara acak atau membentuk pola tertentu di suatu wilayah.

Salah satu konsep penting dalam analisis spasial adalah autokorelasi spasial, yaitu hubungan antara nilai suatu variabel pada suatu lokasi dengan nilai variabel tersebut pada lokasi lain yang berdekatan. Apabila suatu wilayah memiliki nilai yang mirip dengan wilayah di sekitarnya, maka fenomena tersebut dikatakan memiliki autokorelasi spasial positif. Dalam penelitian ini, analisis autokorelasi spasial digunakan untuk mengetahui apakah tingkat pengangguran terdidik di Provinsi Sumatera Utara membentuk pola spasial tertentu atau tidak. Autokorelasi spasial dapat diukur menggunakan Moran's I dengan persamaan sebagai berikut:

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

dengan:

n = jumlah wilayah pengamatan

x_i = nilai variable pada wilayah ke- i

\bar{x} = rata-rata variable

w_{ij} = bobot spasial antara wilayah i dan j

Jika nilai Moran's I positif dan signifikan, maka data memiliki pola pengelompokan (clustered), sedangkan nilai negatif menunjukkan pola dispersed.

C. Local Indicators of Spatial Association (LISA)

Local Indicators of Spatial Association (LISA) merupakan metode analisis spasial yang digunakan untuk mengidentifikasi pola keterkaitan spasial pada tingkat lokal. Metode ini digunakan untuk mengetahui apakah suatu wilayah memiliki nilai yang mirip atau berbeda dengan wilayah di sekitarnya. Melalui analisis LISA, suatu wilayah dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori kluster, yaitu *High-High*, *Low-Low*, *High-Low*, dan *Low-High*. Kluster *High-High* menunjukkan wilayah dengan nilai tinggi yang dikelilingi oleh wilayah dengan nilai tinggi, sedangkan kluster *Low-Low* menunjukkan wilayah dengan nilai rendah yang dikelilingi oleh wilayah dengan nilai rendah. Sementara itu, kategori *High-Low* dan *Low-High* menunjukkan adanya outlier spasial, yaitu wilayah yang memiliki karakteristik berbeda dibandingkan dengan wilayah di sekitarnya.

Dalam penelitian ini, metode LISA digunakan sebagai tahap eksplorasi spasial untuk mengidentifikasi pola persebaran tingkat pengangguran terdidik antar kabupaten/kota di Provinsi Sumatera Utara. Melalui metode ini dapat diketahui wilayah yang termasuk kluster pengangguran tinggi maupun wilayah dengan tingkat pengangguran rendah sehingga dapat memberikan gambaran awal mengenai distribusi spasial fenomena tersebut. Nilai LISA lokal dihitung menggunakan persamaan:

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (2)$$

Keterangan:

I_i = nilai indeks autokorelasi spasial lokal (LISA) untuk wilayah ke- i

x_i = nilai variabel pada wilayah ke- i

x_j = nilai variabel pada wilayah tetangga ke- j

\bar{x} = rata-rata keseluruhan nilai variabel di seluruh wilayah penelitian

w_{ij} = bobot spasial hubungan kedekatan antar wilayah ke- i dan ke- j

n = jumlah total wilayah observasi

S^2 = varians dari seluruh variabel yang digunakan.

Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi pola kluster pengangguran terdidik antar kabupaten/kota di Provinsi Sumatera Utara.

D. Multiscale Geographically Weighted Regression (MGWR)

Multiscale Geographically Weighted Regression (MGWR) merupakan pengembangan dari metode GWR yang memungkinkan setiap variabel independen memiliki skala pengaruh spasial yang berbeda. Dalam metode MGWR, setiap variabel dapat memiliki bandwidth yang berbeda sehingga dapat membedakan variabel yang memiliki pengaruh global maupun variabel yang memiliki pengaruh lokal. Dalam penelitian ini, MGWR digunakan untuk memodelkan hubungan antara tingkat pengangguran terdidik dengan variabel sosial ekonomi seperti IPM, PDRB per kapita, tingkat kemiskinan, TPAK, dan rata-rata lama sekolah. Metode ini memungkinkan setiap variabel dianalisis berdasarkan skala pengaruhnya masing-masing, sehingga mampu menangkap heterogenitas spasial yang terjadi antar wilayah.

Pendekatan MGWR dinilai lebih mampu menjelaskan variasi spasial dibandingkan model regresi global maupun GWR, karena dapat mengidentifikasi faktor yang berpengaruh secara luas di seluruh wilayah serta faktor yang hanya berpengaruh pada wilayah tertentu. Dengan demikian, penggunaan MGWR dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan hasil analisis yang lebih akurat dalam menjelaskan fenomena pengangguran terdidik di Provinsi Sumatera Utara. Model MGWR dapat dituliskan sebagai berikut:

$$y_i = \beta_0 (u_i, v_i, b_0) + \sum_{k=1}^p \beta_k (u_i, v_i, b_k) x_{ik} + \varepsilon_i \quad (3)$$

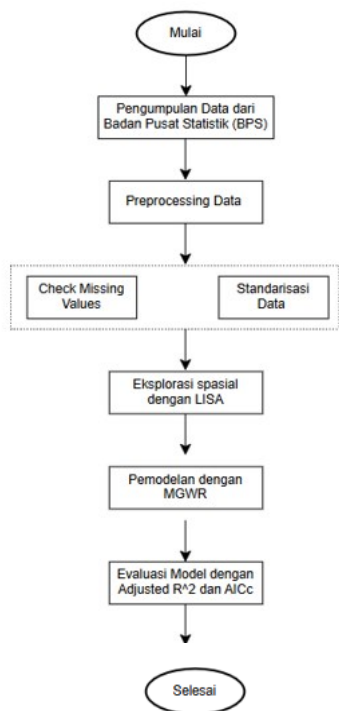
Keterangan:

b_k : *Bandwidth* spesifik untuk variabel ke- k yang merepresentasikan skala spasial pengaruhnya.

Dalam penelitian ini, MGWR digunakan untuk memodelkan hubungan antara TPT terdidik dengan variabel sosial ekonomi seperti IPM, PDRB per kapita, tingkat kemiskinan, TPAK, dan RLS dengan mempertimbangkan heterogenitas spasial antar wilayah.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis spasial untuk menganalisis pola distribusi pengangguran terdidik serta mengidentifikasi faktor-faktor sosial ekonomi yang memengaruhinya di Provinsi Sumatera Utara. Metode utama yang digunakan adalah *Multiscale Geographically Weighted Regression* (MGWR) dengan tahapan penelitian yang disajikan pada diagram alir penelitian.



Gambar. 1 Diagram Alir Penelitian

A. Pengumpulan Data

Tahap awal penelitian adalah pengumpulan data sekunder yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS). Data yang digunakan merupakan data sosial ekonomi kabupaten/kota di Provinsi Sumatera Utara tahun 2024. Unit analisis dalam penelitian ini terdiri dari 33 kabupaten/kota, yang meliputi 25 kabupaten dan 8 kota.

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari satu variabel dependen dan beberapa variabel independen. Variabel dependen adalah Tingkat Pengangguran Terbuka Terdidik, yaitu persentase penduduk dengan tingkat pendidikan minimal SMA atau sederajat yang termasuk dalam angkatan kerjaja tetapi tidak bekerja. Sedangkan variabel independen yang digunakan meliputi Indeks Pembangunan Manusia (IPM), Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) per kapita, tingkat kemiskinan, Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (TPAK), dan rata-rata lama sekolah (RLS). Data tersebut diperoleh dari publikasi statistik resmi BPS yang tersedia dalam bentuk laporan statistik daerah.

B. Preprocessing Data

Setelah data dikumpulkan, tahap selanjutnya adalah melakukan *preprocessing data* untuk memastikan kualitas data sebelum digunakan dalam proses analisis. Tahap *preprocessing* ini meliputi dua proses utama yaitu sebagai berikut:

1. Pemeriksaan Missing Values

Pemeriksaan missing values dilakukan untuk mengidentifikasi apakah terdapat data yang hilang pada setiap variabel penelitian. Data yang tidak lengkap dapat mempengaruhi hasil analisis serta menurunkan keakuratan model yang dihasilkan. Oleh karena itu, setiap variabel diperiksa untuk memastikan bahwa seluruh wilayah observasi memiliki data yang lengkap. Hasil pemeriksaan menunjukkan

bahwa seluruh variabel penelitian memiliki data yang lengkap sehingga dapat langsung digunakan pada tahap analisis selanjutnya.

2. Standarisasi Data

Standarisasi data dilakukan untuk menyamakan skala variable yang memiliki satuan berbeda. Variabel dalam penelitian ini memiliki satuan yang berbeda seperti indeks, persentase, dan nilai ekonomi, sehingga diperlukan proses standarisasi agar setiap variabel dapat dibandingkan secara proporsional dalam model analisis. Standarisasi data dilakukan menggunakan metode *z-score normalization* dengan persamaan:

$$z_i = \frac{(x_j - \bar{x})}{s} \tag{4}$$

Keterangan:

z_i : Nilai standar (*standardized value*) pada wilayah ke- i

x_i : Nilai asli variabel pada wilayah ke- i

\bar{x} : Nilai rata-rata (mean) dari seluruh wilayah

s : Simpangan baku (*standard deviation*) dari variabel tersebut.

Nilai z_i adalah standarisasi dari data asli x_i , sehingga menggambarkan apakah suatu wilayah memiliki nilai diatas ($z_i > 0$) atau dibawah ($z_i < 0$) rata-rata.

C. Eksplorasi Spasial Menggunakan LISA

Setelah tahap preprocessing selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan eksplorasi spasial menggunakan metode Local Indicators of Spatial Association (LISA). Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi pola autokorelasi spasial pada tingkat lokal serta mengetahui adanya kluster wilayah dengan karakteristik yang serupa. Nilai autokorelasi spasial lokal dihitung menggunakan persamaan:

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{s^2} \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \tag{5}$$

Dimana I_i merupakan indeks autokorelasi lokal pada wilayah ke- i , x_j merupakan nilai variable pada wilayah ke- j , \bar{x} merupakan nilai rata-rata variabel, dan w_{ij} merupakan bobot spasial antara wilayah ke- i dan ke- j . Melalui analisis LISA, wilayah penelitian dapat diklasifikasikan ke dalam empat kategori kluster yaitu High-High (HH), Low-Low (LL), High-Low (HL), dan Low-High (LH). Analisis ini memberikan gambaran mengenai distribusi spasial tingkat pengangguran terdidik di Provinsi Sumatera Utara.

D. Pemodelan Menggunakan MGWR

Tahap selanjutnya adalah melakukan pemodelan menggunakan metode *Multiscale Geographically Weighted Regression* (MGWR). Metode ini digunakan untuk menganalisis hubungan antara tingkat pengangguran terdidik dengan variabel-variabel sosial ekonomi yang memengaruhinya. Model MGWR merupakan pengembangan dari Geographically Weighted Regression (GWR) yang memungkinkan setiap variabel independen memiliki bandwidth atau skala pengaruh spasial yang berbeda. Dengan pendekatan ini, model dapat menangkap variasi pengaruh variabel pada setiap wilayah secara lebih fleksibel. Model MGWR dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i, b_0) + \sum_{k=1}^p \beta_k(u_i, v_i, b_k)x_{ik} + \varepsilon_i \quad (6)$$

Melalui model MGWR, setiap wilayah dapat memiliki parameter regresi yang berbeda sehingga mampu menggambarkan heterogenitas spasial dalam hubungan antara variabel sosial ekonomi dan tingkat pengangguran terdidik.

- z_i : Nilai standar (*standardized value*) pada wilayah ke- i
- x_i : Nilai asli variabel pada wilayah ke- i
- \bar{x} : Nilai rata-rata (mean) dari seluruh wilayah
- s : Simpangan baku (*standard deviation*) dari variabel tersebut.

Nilai z_i adalah standarisasi dari data asli x_i , sehingga menggambarkan apakah suatu wilayah memiliki nilai diatas ($z_i > 0$) atau dibawah ($z_i < 0$) rata-rata

E. Evaluasi Model

Setelah model MGWR diperoleh, tahap berikutnya adalah melakukan evaluasi model untuk menilai performa model yang dihasilkan. Evaluasi model dilakukan menggunakan indikator statistik yaitu Adjusted R² dan *Akaike Information Criterion corrected* (AICc).

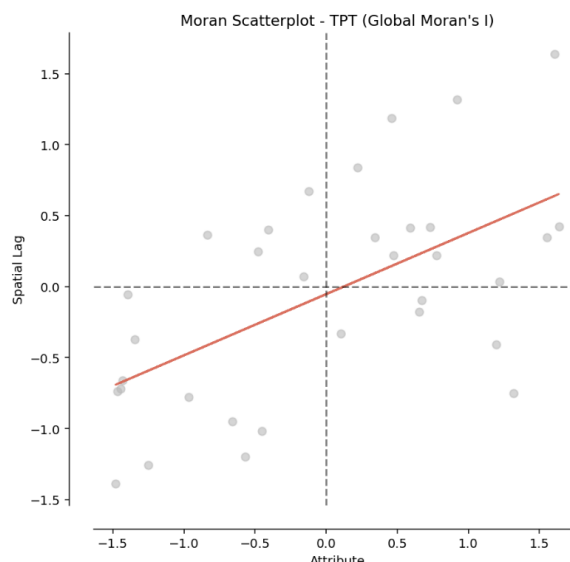
Adjusted R² digunakan untuk mengukur kemampuan model dalam menjelaskan variasi data yang diamati. Nilai Adjusted R² yang lebih tinggi menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan penjelasan yang lebih baik. Sementara itu, AICc digunakan untuk membandingkan kualitas model. Model dengan nilai AICc yang lebih kecil menunjukkan performa model yang lebih baik karena mampu menjelaskan data dengan kompleksitas model yang lebih efisien

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan membahas mengenai hasil analisis penelitian dari pemodelan yang dilakukan pada data Tingkat Pengangguran Terbuka, Indeks Pembangunan Manusia, Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) per kapita, Tingkat Kemiskinan, Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (TPAK) dan Rata-rata Lama Sekolah (RLS) di Provinsi Sumatera Utara.

A. Analisis Autokorelasi Spasial Global (*Moran's I*)

Tahap awal dalam analisis spasial adalah mengidentifikasi keberadaan autokorelasi spasial pada data tingkat pengangguran terdidik di Provinsi Sumatera Utara. Autokorelasi spasial mengindikasikan adanya keterkaitan nilai suatu variabel pada suatu wilayah dengan nilai variabel tersebut pada wilayah lain yang berdekatan secara geografis. Untuk menguji keberadaan autokorelasi spasial tersebut digunakan indeks *Moran's I*.



Gambar. 2 Autokorelasi TPT

Berdasarkan hasil perhitungan *Moran's I* terhadap variabel tingkat pengangguran terdidik, diperoleh nilai *Moran's I* sebesar 0,4307 dengan p-value sebesar 0,002. Nilai *Moran's I* yang positif menunjukkan bahwa distribusi tingkat pengangguran terdidik di Provinsi Sumatera Utara memiliki pola autokorelasi spasial positif. Hal ini berarti bahwa wilayah dengan tingkat pengangguran terdidik tinggi cenderung berada di dekat wilayah lain yang juga memiliki tingkat pengangguran tinggi. Sebaliknya, wilayah dengan tingkat pengangguran rendah cenderung berada di sekitar wilayah dengan tingkat pengangguran rendah.

Nilai p-value yang lebih kecil dari tingkat signifikansi 0,05 menunjukkan bahwa autokorelasi spasial tersebut signifikan secara statistik, sehingga dapat disimpulkan bahwa pola distribusi pengangguran terdidik di wilayah penelitian tidak terjadi secara acak. Temuan ini menunjukkan bahwa fenomena pengangguran terdidik memiliki keterkaitan antarwilayah yang kuat sehingga pendekatan analisis spasial menjadi relevan untuk digunakan dalam penelitian ini.

Keberadaan autokorelasi spasial ini juga mengindikasikan bahwa penggunaan model regresi global seperti *Ordinary Least Squares* (OLS) mungkin tidak cukup untuk menjelaskan variasi hubungan antarvariabel di seluruh wilayah penelitian. Oleh karena itu, metode regresi spasial seperti *Geographically Weighted Regression* (GWR) dan *Multiscale Geographically Weighted Regression* (MGWR) diperlukan untuk mengakomodasi variasi spasial tersebut. Moran scatterplot yang ditampilkan memperkuat interpretasi tersebut. Sumbu horizontal (Attribute) merepresentasikan nilai TPT yang telah dinormalisasi, sedangkan sumbu vertikal (Spatial Lag) menunjukkan rata-rata tertimbang nilai TPT di wilayah tetangga. Garis regresi yang memiliki kemiringan positif mengindikasikan korelasi spasial positif antarwilayah. Titik-titik yang berada pada kuadran kanan atas (High-High) menunjukkan kabupaten/kota dengan TPT tinggi yang dikelilingi wilayah dengan TPT tinggi, sedangkan kuadran kiri bawah (Low-Low) menunjukkan wilayah dengan TPT rendah yang dikelilingi wilayah dengan TPT rendah. Keberadaan titik pada kuadran tersebut menegaskan adanya pengelompokan spasial (*spatial clustering*). Oleh karena itu, hasil Global

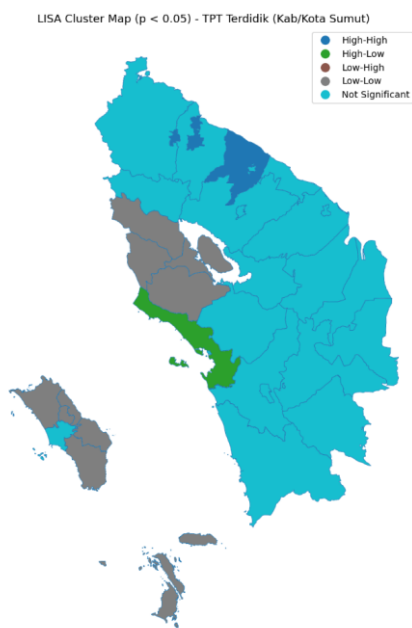
Moran's I ini menjadi dasar kuat untuk melanjutkan analisis ke tahap autokorelasi spasial lokal (LISA) dan pemodelan regresi spasial seperti GWR dan MGWR, karena asumsi independensi spasial pada regresi global (OLS) kemungkinan tidak terpenuhi

B. Analisis Klaster Spasial dengan LISA

Setelah diketahui bahwa data memiliki autokorelasi spasial secara global, analisis dilanjutkan menggunakan *metode Local Indicators of Spatial Association (LISA)* untuk mengidentifikasi pola keterkaitan spasial pada tingkat lokal. Analisis LISA bertujuan untuk mengetahui wilayah-wilayah yang membentuk klaster tertentu serta wilayah yang memiliki karakteristik berbeda dibandingkan wilayah di sekitarnya. Berdasarkan hasil analisis LISA dengan tingkat signifikansi $p < 0,05$ dan menggunakan 999 permutasi, diperoleh distribusi klaster spasial sebagai berikut:

Tabel. 1 Analisis Klaster Spasial

Kategori Klaster	Jumlah Wilayah
Not Significant	21
Low-Low (LL)	8
High-High (HH)	3
High-Low (HL)	1



Gambar. 3 Peta Klaster LISA

Hasil ini menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah tidak memiliki hubungan spasial yang signifikan dengan wilayah di sekitarnya. Namun demikian, terdapat beberapa wilayah yang membentuk klaster spasial yang jelas. Wilayah yang termasuk kategori High-High (HH) menunjukkan wilayah dengan tingkat pengangguran terdidik tinggi yang dikelilingi oleh wilayah dengan tingkat pengangguran tinggi pula. Wilayah ini dapat dikategorikan sebagai hotspot pengangguran terdidik yang memerlukan perhatian khusus dalam kebijakan ketenagakerjaan.

Sementara itu, wilayah yang termasuk dalam kategori Low-Low (LL) merupakan wilayah dengan tingkat pengangguran rendah yang dikelilingi oleh wilayah dengan tingkat pengangguran rendah. Wilayah ini dapat dikategorikan sebagai coldspot pengangguran yang menunjukkan kondisi pasar tenaga kerja yang relatif lebih baik. Adanya klaster-klaster spasial tersebut menunjukkan bahwa fenomena pengangguran terdidik tidak hanya dipengaruhi oleh kondisi internal suatu wilayah, tetapi juga oleh kondisi wilayah di sekitarnya. Hal ini menunjukkan pentingnya pendekatan kebijakan pembangunan yang mempertimbangkan keterkaitan antarwilayah.

Wilayah yang termasuk kategori High-High (HH) merupakan daerah dengan nilai TPT terdidik tinggi yang dikelilingi oleh wilayah lain dengan nilai TPT tinggi. Klaster ini mengindikasikan adanya hotspot pengangguran terdidik, sehingga wilayah tersebut dapat diprioritaskan dalam kebijakan penyerapan tenaga kerja dan peningkatan kualitas pasar kerja lokal. Sebaliknya, wilayah dalam kategori Low-Low (LL) menunjukkan daerah dengan TPT terdidik rendah yang dikelilingi oleh wilayah dengan nilai rendah pula, sehingga membentuk coldspot atau klaster wilayah dengan kondisi relatif lebih baik dalam penyerapan tenaga kerja terdidik.

Adanya satu wilayah dalam kategori High-Low (HL) menunjukkan keberadaan outlier spasial, yaitu kabupaten/kota dengan TPT terdidik tinggi tetapi dikelilingi oleh wilayah dengan TPT rendah. Kondisi ini dapat mengindikasikan adanya faktor spesifik lokal, seperti struktur ekonomi atau konsentrasi lulusan pendidikan tertentu, yang berbeda dari wilayah sekitarnya. Sementara itu, sebagian besar wilayah yang termasuk kategori tidak signifikan menunjukkan bahwa pola nilai TPT di wilayah tersebut tidak memiliki keterkaitan spasial yang cukup kuat dengan wilayah tetangganya pada tingkat signifikansi 5%.

Secara keseluruhan, peta LISA memperlihatkan bahwa fenomena pengangguran terdidik di Sumatera Utara tidak tersebar secara acak, melainkan membentuk klaster spasial tertentu. Temuan ini konsisten dengan hasil Global Moran's I sebelumnya yang menunjukkan autokorelasi spasial positif dan memperkuat alasan penggunaan pendekatan regresi spasial seperti GWR dan MGWR dalam penelitian ini

C. Pemodelan Regresi Global (OLS)

Sebagai tahap awal pemodelan statistik, dilakukan estimasi menggunakan model regresi global *Ordinary Least Squares (OLS)*. Model ini digunakan untuk mengetahui hubungan umum antara variabel dependen yaitu tingkat pengangguran terdidik dengan variabel independen yang digunakan dalam penelitian. Hasil estimasi menunjukkan bahwa model OLS memiliki nilai R^2 sebesar 0,671 dan Adjusted R^2 sebesar 0,610. Nilai Adjusted R^2 tersebut menunjukkan bahwa sekitar 61% variasi tingkat pengangguran terdidik di Provinsi Sumatera Utara dapat dijelaskan oleh variabel independen yang digunakan dalam penelitian, yaitu IPM, PDRB per kapita, tingkat kemiskinan, TPAK, dan rata-rata lama sekolah.

Selain itu, nilai Prob (F-statistic) sebesar $7,50 \times 10^{-6}$ menunjukkan bahwa secara simultan variabel independen memiliki pengaruh signifikan terhadap tingkat pengangguran

terdidik. Meskipun model OLS memberikan gambaran awal mengenai hubungan antarvariabel, model ini memiliki keterbatasan karena mengasumsikan bahwa hubungan antara variabel independen dan dependen bersifat homogen di seluruh wilayah penelitian. Dalam kenyataannya, pengaruh variabel sosial ekonomi terhadap pengangguran terdidik dapat berbeda pada setiap wilayah. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan regresi spasial untuk menangkap variasi hubungan tersebut.

D. Pemodelan GWR

Untuk mengakomodasi variasi spasial dalam hubungan antarvariabel, penelitian ini menggunakan metode Geographically Weighted Regression (GWR). Model GWR memungkinkan parameter regresi dihitung secara lokal pada setiap wilayah dengan mempertimbangkan jarak geografis antarwilayah. Hasil estimasi GWR menunjukkan bahwa nilai Adjusted R² sebesar 0,598. Meskipun model ini mampu menangkap variasi lokal dalam hubungan antarvariabel, peningkatan performa model dibandingkan OLS tidak terlalu signifikan.

Hal ini disebabkan karena model GWR menggunakan satu bandwidth yang sama untuk seluruh variabel, sehingga tidak mampu menangkap perbedaan skala pengaruh antarvariabel. Dalam fenomena sosial ekonomi seperti pengangguran, setiap variabel dapat memiliki jangkauan pengaruh spasial yang berbeda.

E. Pemodelan MGWR

Untuk mengatasi keterbatasan model *Geographically Weighted Regression* (GWR), penelitian ini menggunakan metode *Multiscale Geographically Weighted Regression* (MGWR). MGWR merupakan pengembangan dari model GWR yang memungkinkan setiap variabel independen memiliki bandwidth atau skala pengaruh spasial yang berbeda. Berbeda dengan GWR yang menggunakan satu bandwidth yang sama untuk seluruh variabel, MGWR memberikan fleksibilitas yang lebih tinggi dalam menangkap variasi spasial karena setiap variabel dapat memiliki jangkauan pengaruh yang berbeda pada setiap wilayah. Pendekatan ini dinilai lebih sesuai untuk menganalisis fenomena sosial ekonomi yang kompleks seperti tingkat pengangguran terdidik, yang dipengaruhi oleh berbagai faktor dengan karakteristik spasial yang beragam.

Hasil estimasi model MGWR menunjukkan bahwa model ini memiliki nilai Adjusted R² sebesar 0,6226 dan Root Mean Square Error (RMSE) sebesar 1,2816. Nilai Adjusted R² yang lebih tinggi dibandingkan model OLS maupun GWR menunjukkan bahwa MGWR memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menjelaskan variasi tingkat pengangguran terdidik di Provinsi Sumatera Utara. Dengan kata lain, model MGWR mampu menjelaskan lebih dari 62% variasi tingkat pengangguran terdidik berdasarkan variabel sosial ekonomi yang digunakan dalam penelitian ini.

Selain itu, nilai RMSE yang lebih kecil menunjukkan bahwa model MGWR memiliki tingkat kesalahan prediksi yang lebih rendah dibandingkan model sebelumnya. Hal ini mengindikasikan bahwa MGWR mampu memberikan estimasi yang lebih akurat dalam memodelkan hubungan antara

variabel independen seperti IPM, PDRB per kapita, tingkat kemiskinan, TPAK, dan rata-rata lama sekolah dengan tingkat pengangguran terdidik.

Perbedaan nilai bandwidth pada setiap variabel juga menunjukkan bahwa masing-masing faktor sosial ekonomi memiliki skala pengaruh spasial yang berbeda-beda. Beberapa variabel mungkin memiliki pengaruh yang lebih luas dan bersifat global di seluruh wilayah penelitian, sementara variabel lainnya memiliki pengaruh yang lebih lokal dan hanya signifikan pada wilayah tertentu. Temuan ini menunjukkan bahwa pengaruh faktor-faktor sosial ekonomi terhadap tingkat pengangguran terdidik tidak bersifat seragam di seluruh wilayah Provinsi Sumatera Utara, melainkan dipengaruhi oleh karakteristik geografis dan kondisi sosial ekonomi masing-masing daerah.

Dengan demikian, penggunaan metode MGWR dalam penelitian ini mampu memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara variabel sosial ekonomi dan tingkat pengangguran terdidik. Pendekatan ini juga memberikan informasi penting mengenai variasi spasial antarwilayah yang dapat menjadi dasar dalam perumusan kebijakan ketenagakerjaan yang lebih tepat sasaran dan berbasis wilayah.

F. Perbandingan Kinerja Model

Perbandingan performa model dilakuakn untuk menentukan model yang paling optimal dalam menjelaskan variasi spasial Tingkat pengangguran terdidik.

Tabel. 2 Perbandingan Kinerja Model

Model	Adjusted R ²	RMSE
OLS	0,6099	1,3449
GWR	0,5980	1,3366
MGWR	0,6226	1,2816

Berdasarkan hasil analisis, model OLS memiliki nilai Adjusted R² sebesar 0,6099 dengan nilai RMSE sebesar 1,3449. Hal ini menunjukkan bahwa model OLS mampu menjelaskan sekitar 60,99% variasi tingkat pengangguran terdidik di wilayah penelitian. Selanjutnya, model GWR menghasilkan nilai Adjusted R² sebesar 0,5980 dengan nilai RMSE sebesar 1,3366. Meskipun model GWR mampu mengakomodasi variasi spasial dengan menghitung parameter regresi secara lokal, peningkatan performa model dibandingkan OLS tidak terlalu signifikan.

Sementara itu, model MGWR menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan kedua model sebelumnya. Model ini menghasilkan nilai Adjusted R² sebesar 0,6226 dan RMSE sebesar 1,2816. Nilai Adjusted R² yang lebih tinggi menunjukkan bahwa model MGWR memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menjelaskan variasi tingkat pengangguran terdidik di Provinsi Sumatera Utara. Selain itu, nilai RMSE yang lebih kecil menunjukkan bahwa model MGWR memiliki tingkat kesalahan prediksi yang lebih rendah dibandingkan model OLS dan GWR.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa MGWR merupakan model yang paling optimal dalam memodelkan fenomena pengangguran terdidik pada penelitian ini. Keunggulan

MGWR terletak pada kemampuannya untuk memberikan bandwidth yang berbeda pada setiap variabel independen, sehingga mampu menangkap heterogenitas spasial yang lebih kompleks dibandingkan model regresi global maupun GWR konvensional. Dengan demikian, MGWR dinilai lebih efektif dalam menjelaskan variasi spasial tingkat pengangguran terdidik di Provinsi Sumatera Utara.

V. KESIMPULAN

Semua Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan mengenai pemodelan spasial Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT) terdidik di Provinsi Sumatera Utara menggunakan pendekatan Multiscale Geographically Weighted Regression (MGWR), diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis autokorelasi spasial global menggunakan Moran's I menunjukkan nilai sebesar 0,4307 dengan p-value 0,002, yang berarti terdapat autokorelasi spasial positif yang signifikan pada distribusi TPT terdidik. Hal ini menunjukkan bahwa pola TPT terdidik tidak tersebar secara acak, melainkan membentuk pengelompokan wilayah dengan karakteristik serupa. Analisis LISA selanjutnya mengidentifikasi adanya kluster High-High (hotspot), Low-Low (coldspot), serta beberapa wilayah yang termasuk kategori outlier spasial. Temuan ini menegaskan bahwa permasalahan pengangguran terdidik di Sumatera Utara memiliki dimensi spasial yang kuat.
2. Hasil estimasi regresi global (OLS) menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan sekitar 60,99% variasi TPT terdidik ($\text{Adjusted } R^2 = 0,6099$). Secara simultan, variabel independen berpengaruh signifikan terhadap TPT terdidik, namun secara parsial hanya variabel TPAK yang menunjukkan pengaruh signifikan pada tingkat kepercayaan 95%. Meskipun model OLS memberikan gambaran umum hubungan antarvariabel, pendekatan ini mengasumsikan bahwa pengaruh variabel bersifat konstan di seluruh wilayah, sehingga kurang mampu menangkap heterogenitas spasial.
3. Model GWR menunjukkan adanya variasi pengaruh antarwilayah melalui estimasi koefisien lokal. Namun, model ini masih menggunakan satu bandwidth yang sama untuk seluruh variabel, sehingga belum sepenuhnya mencerminkan perbedaan skala spasial masing-masing faktor. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa GWR belum memberikan peningkatan yang signifikan dibandingkan OLS dari sisi $\text{Adjusted } R^2$.
4. Model MGWR memberikan hasil yang lebih komprehensif dibandingkan OLS dan GWR. MGWR menghasilkan bandwidth yang berbeda untuk setiap variabel, yang menunjukkan adanya heterogenitas spasial multiskala dalam pengaruh faktor-faktor sosio-ekonomi terhadap TPT terdidik. Berdasarkan hasil evaluasi, model MGWR memiliki nilai $\text{Adjusted } R^2$ tertinggi (0,6226) dan RMSE terendah (1,2816), sehingga memiliki kemampuan penjelasan dan akurasi prediksi yang lebih baik dibandingkan model lainnya. Selain itu, uji Moran's I residual menunjukkan bahwa tidak terdapat autokorelasi spasial yang signifikan pada residual model, sehingga struktur spasial dalam data telah terakomodasi dengan baik.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan spasial, khususnya MGWR, lebih efektif dalam menjelaskan variasi TPT terdidik di Provinsi Sumatera Utara karena mampu menangkap perbedaan skala pengaruh antarvariabel dan antarwilayah. Dengan demikian, model MGWR dipilih sebagai model terbaik dalam penelitian ini dan dapat menjadi dasar dalam perumusan kebijakan ketenagakerjaan yang lebih spesifik dan berbasis wilayah.

REFERENS

- [1] Siti Fatimah Azzahra, Lystiana Dewi Putri, Fachrizza Yunanda Purba, Dah-ri Tanjung, Ajeng Rezkita Putri, and Ratu Zaskia Daimatul Zulva, "Dam-pak Pengangguran Terhadap Stabilitas Sosial Dan Perekonomian Indonesia," *MENAWAN: Jurnal Riset dan Publikasi Ilmu Ekonomi*, vol. 2, no. 4, pp. 220–233, Jun. 2024, doi: 10.61132/menawan.v2i4.719.
- [2] Moch Rifqi Shihabuddin Al Ubaidillah and Muhammad Yasin, "Analisis Pengangguran dan Kebijakan Pemerintah Terhadap Perekonomian Indonesia," *Jurnal Riset Ekonomi dan Akuntansi*, vol. 2, no. 3, pp. 34–42, 2024, doi: 10.54066/jrea-itb.v2i3.2123.
- [3] D. Waluyo, "Kondisi Perekonomian Indonesia Menurut Lembaga Keuangan Internasional," *Portal Informasi Indonesia*, no. 36, p. 1, 2024, [Online]. Available: <https://indonesia.go.id/kategori/indonesia-dalam-angka/7869/kondisi-perekonomian-indonesia-menurut-lembaga-keuangan-internasional?lang=1>
- [4] B. P. Statistik, "Keadaan Ketenagakerjaan Indonesia Agustus 2024," *Ba-dan Pusat Statistik*, vol. 11, no. 84, pp. 1–28, 2024.
- [5] Istiqomah Dzikrullah and Mirna Nur Alia Abdullah, "Tantangan Dan Peluang Angkatan Kerja Terdidik Di Dunia Kerja Untuk Mengatasi Per-masalahan Pengangguran Di Indonesia," *SABANA: Jurnal Sosiologi, An-tropologi, dan Budaya Nusantara*, vol. 3, no. 1, pp. 20–24, 2024, doi: 10.55123/sabana.v3i1.3302.
- [6] E. M. Putri and D. Z. Putri, "Pengaruh Upah Minimum, Tingkat Pengang-guran Terbuka, Pendidikan Dan Pengeluaran Pemerintah Terhadap Kem-iskinan di Indonesia," *Ecosains: Jurnal Ilmiah Ekonomi dan Pem-bangunan*, vol. 10, no. 2, p. 106, 2021, doi: 10.24036/ecosains.11564057.00.
- [7] K. D. Pramesti, N. I. Meisya, and R. Amrillah, "Relevansi Lulusan Perguruan Tinggi dengan Dunia Kerja," *Jurnal Pendidikan Islam dan So-sial Keagamaan*, vol. 3, no. 4, pp. 236–243, 2024, [Online]. Available: <https://journal.nabest.id/index.php/annajah>
- [8] B. P. Statistik, *Keadaan Angkatan Kerja Provinsi Sumatera Utara, Agustus 2024*, vol. 12. BPS Sumatera Utara, 2024.
- [9] W. R. Rahmadhani, R. D. Bakti, and Noeryanti, "Robust Spatial Durbin Model untuk Pemodelan Tingkat Pengangguran Terbuka di Provinsi Jawa Tengah," *Jnanaloka*, vol. 4, no. 2, pp. 91–103, 2023.
- [10] ARMANDO J. GARCIA PIRES, "Brain Drain and Brain Waste," *J. Econ. Dev.*, vol. 40, no. 1, pp. 1–34, 2015, doi: 10.35866/caujed.2015.40.1.001.
- [11] S. Suparman and M. Muzakir, "Regional inequality, human capital, unem-ployment, and economic growth in Indonesia: Panel regression approach," *Cogent Economics and Finance*, vol. 11, no. 2, 2023, doi: 10.1080/23322039.2023.2251803.
- [12] W. G. Septiyanto and E. Tusianti, "Analisis Spasial Tingkat Pengangguran Terbuka di Provinsi Jawa Barat," *Jurnal Ekonomi Indonesia*, vol. 9, no. 2, pp. 119–131, 2020, doi: 10.52813/jei.v9i2.40.
- [13] N. Jesri et al., "Mapping and Spatial Pattern Analysis of COVID-19 in Central Iran Using the Local Indicators of Spatial Association (LISA)," *BMC Public Health*, vol. 21, no. 1, pp. 1–10, 2021, doi: 10.1186/s12889-021-12267-6.
- [14] D. R. Agustina, A. Rusgiyono, and P. P. Izati, "Spatial Analysis of Poverty in Central Java Indonesia Through Multiscale Geographically Weighted Regression," *International Journal of Mathematics And Computer Re-search*, vol. 13, no. 05, pp. 5156–5162, 2025, doi: 10.47191/ijmcr/v13i5.03.
- [15] P. R. Khairani, Y. Kurniawati, N. Amalita, T. Octavia Mukhti, and F. Ma-tematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, "Analisis Kemiskinan Di Indonesia Menggunakan Local Indicator Of Spatial Association Dan Spatial Error Model," *Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika dan Statisti-ka*, vol. 6, no. 1, pp. 506–517, 2025, [Online]. Available: <http://lebesgue.lppmbinabangsa.id/index.php/home>
- [16] E. Putri Hermanto, "Pemetaan Pengendalian Penyakit Menular di Kabu-paten Bondowoso Tahun 2022 menggunakan Local Indicators of

- Spatial Association (LISA)," *Jurnal Aplikasi Matematika dan Statistik*, vol. 1, no. 2, pp. 39–48, 2023, doi: 10.53625/jams.v1i2.6265.
- [17] F. P. Anugrah, "Mixed Geographically Weighted Regression Modeling on Gross Regional Domestic Product of Districts/Cities in Central Java," *Journal of Applied Statistics and Data Science*, vol. 1, no. 2, pp. 119–128, 2024, doi: 10.21776/ub.jasds.2024.001.02.6.
- [18] W. Kang and T. M. Oshan, "Scale and correlation in multiscale geographically weighted regression (MGWR)," *J. Geogr. Syst.*, vol. 27, no. 3, pp. 399–424, 2025, doi: 10.1007/s10109-025-00468-1.
- [19] F. W. Pratama and E. Setyowati, "Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pengangguran Terdidik Lulusan Universitas di Indonesia Tahun 2005-2021," *Ekonomis: Journal of Economics and Business*, vol. 6, no. 2, p. 662, 2022, doi: 10.33087/ekonomis.v6i2.601.
- [20] N. E. Nugroho, J. Irianto, and S. Suryanto, "a Systematic Review of Indonesian Higher Education Students' and Graduates' Work Readiness," *Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi*, vol. 8, no. 1, pp. 350–363, 2024, doi: 10.22437/jiituj.v8i1.33073.
- [21] A. Tri Wulandari and Sishadiyati, "The Effect of Foreign Investment, Employment Rates, and Total Population on Educated Unemployment in Indonesia," *International Journal of Economics (IJEC)*, vol. 2, no. 2, pp. 679–687, 2023, doi: 10.55299/ijec.v2i2.557.
- [22] BPS Indonesia, "Indeks Pembangunan Manusia (Metode Baru)," *Badan Pusat Statistik Indonesia*, vol. 2015, no. September, p. 90, 2015, [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/1211>
- [23] B. P. Statistik, "Produk Domestik Regional Bruto Provinsi-Provinsi di Indonesia Menurut Pengeluaran 2020-2024," 2025. doi: 10.1088/1751-8113/44/8/085201.
- [24] BPS, "Penghitungan dan analisis kemiskinan makro Indonesia 2024 (Indonesian macro poverty calculation and analysis 2024)," 2024, [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id/publication/2024/11/29/31e54c0717742a2dc13300e4/computation-and-analysis-of-macro-poverty-of-indonesia-2024.html>
- [25] Sakernas, "Booklet Sakernas Februari 2024 Volume 7, Nomor 1 2024," *Badan Pusat Statistik*, p. 16, 2024, [Online]. Available: <https://shorturl.at/Poojt>
- [26] J. P. Laia and K. Ashar, "Analisis Determinan Tingkat Pengangguran Terbuka Di Kabupaten Dan Kota Jawa Barat Tahun 2018 - 2021," *Journal of Development Economic and Social Studies*, vol. 2, no. 3, pp. 583–599, 2023, doi: 10.21776/jdess.2023.02.3.10.
- [27] S. Banerjee, "Spatial Data Analysis," *Annu. Rev. Public Health*, vol. 37, pp. 47–60, 2016, doi: 10.1146/annurev-publhealth-032315-021711.
- [28] A. S. Fotheringham and C. Brunson, "Local Forms of Spatial Analysis," *Geogr. Anal.*, vol. 31, no. 4, pp. 340–358, 1999, doi: 10.1111/j.1538-4632.1999.tb00989.x.
- [29] P. Utami, D. Nurdiansyah, and A. Y. Kartini, "Implementation of Mixed Geographically Weighted Regression Model To Analyze Social Assistance Budget in East Java," *Jurnal Statistika dan Aplikasinya*, vol. 8, no. 2, pp. 171–178, 2024, doi: 10.21009/jsa.08204.
- [30] Y. Chen, "Spatial autocorrelation equation based on Moran's index," *Sci. Rep.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–14, 2023, doi: 10.1038/s41598-023-45947-x.
- [31] L. Anselin, "Local Indicators of Spatial Association—LISA," *Geogr. Anal.*, vol. 27, no. 2, pp. 93–115, 1995, doi: 10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x.
- [32] Y. Chen, "Reconstruction and normalization of LISA for spatial analysis," *PLoS One*, vol. 19, no. 5 May, pp. 1–26, 2024, doi: 10.1371/journal.pone.0303456.
- [33] T. M. Oshan, Z. Li, W. Kang, L. J. Wolf, and A. Stewart Fotheringham, "MGWR: A python implementation of multiscale geographically weighted regression for investigating process spatial heterogeneity and scale," *ISPRS Int. J. Geoinf.*, vol. 8, no. 6, 2019, doi: 10.3390/ijgi8060269.
- [34] A. S. Fotheringham, W. Yang, and W. Kang, "© 2017 by American Association of Geographers Initial submission," *Ann. Am. Assoc. Geogr.*, vol. 107, no. 6, pp. 1247–1265, 2017.