



Analisis Model Regresi Spasial Kasus Tuberkulosis (TB) di Provinsi Sumatera Utara Menggunakan *Ordinary Least Squares* (OLS) dan *Geographically Weighted Regression* (GWR)

Spatial Regression Model Analysis of Tuberculosis (TB) Cases in North Sumatra Province Using Ordinary Least Squares (OLS) and Geographically Weighted Regression (GWR)

Arizal Bawasir^{1*}, S R Bening Pratiwi Kusnadi¹, dan Wening Aisyah Fauziana Koman¹

¹Program Studi Sarjana Teknik Geomatika, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.

*Corresponding Author: arizalbawasir@upnyk.ac.id

Article Info:

Received: 26 - 08 - 2025

Accepted: 30 - 09 - 2025

Published: 31 - 10 - 2025

Kata kunci: Tuberkulosis, regresi spasial, OLS, GWR, Sumatera Utara

Keywords: Tuberculosis, spatial regression, OLS, GWR, North Sumatra

Abstrak: Penyakit tuberkulosis (TB) masih menjadi salah satu tantangan kesehatan masyarakat yang signifikan di Indonesia., termasuk di Provinsi Sumatera Utara. Analisis yang bersifat regional penting dilakukan karena distribusi kasus TB tidak hanya dipengaruhi oleh faktor individual, tetapi juga kondisi sosial-ekonomi yang bervariasi antar-wilayah. Dalam konteks tersebut, metode *Ordinary Least Squares* (OLS) dan *Geographically Weighted Regression* (GWR) digunakan untuk memodelkan regresi spasial dengan melibatkan berbagai variabel. Kedua metode ini dinilai sesuai untuk menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi jumlah kasus TB. Penelitian ini menggunakan data tahun 2021, dengan jumlah kasus TB sebagai variabel dependen, serta kepadatan penduduk, jumlah sapi ternak, jumlah fasilitas kesehatan, dan jumlah penduduk miskin sebagai variabel independen. Hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa jumlah fasilitas kesehatan memiliki hubungan paling kuat dengan jumlah kasus TB, sedangkan variabel lain memiliki hubungan yang relatif lemah. Pemodelan OLS memberikan gambaran global dengan nilai Adjusted R² sebesar 0,754, namun tidak mampu menangkap heterogenitas spasial antarwilayah. Sebaliknya, GWR menghasilkan nilai Adjusted R² sebesar 0,848 dan nilai AICc yang lebih rendah. Hal ini menunjukkan model GWR lebih efisien dan akurat dalam pemodelan spasial studi kasus TB Sumut. Local R² dari GWR juga mengungkapkan adanya variasi spasial signifikan. Temuan ini menegaskan bahwa distribusi kasus TB di Sumatera Utara dipengaruhi faktor spasial heterogen, sehingga penanggulangan TB perlu mempertimbangkan karakteristik lokal.

Abstract: Tuberculosis (TB) continues to be a significant public health challenge in Indonesia, including in North Sumatra Province. Regional-level analysis is crucial since the distribution of TB cases is not only influenced by individual factors but also by socio-economic conditions that vary across regions. In this context, *Ordinary Least Squares* (OLS) and *Geographically Weighted Regression* (GWR) were employed to model spatial regression involving multiple variables. Both methods are considered appropriate for analyzing the factors influencing the number of TB cases. This study utilized 2021 data, with the number of TB cases as the dependent variable, and population density, number of cattle, number of health facilities, and number of poor residents as independent variables. Correlation analysis revealed that the number of health facilities had the strongest association with TB cases, while other variables showed relatively weak correlations. The OLS model provided a global overview with an Adjusted R² value of 0.754 but failed to capture spatial heterogeneity across regions. In contrast, the GWR model achieved an Adjusted R² of 0.848 and a lower AICc value, indicating higher efficiency and accuracy in spatial modeling of TB in North Sumatra. Furthermore, the Local R² from GWR revealed significant spatial variation. These findings highlight that the distribution of TB cases in North Sumatra is influenced by heterogeneous spatial factors, implying that TB control efforts should account for local characteristics.

How to Cite:

Bawasir, A., Kusnadi, S. R. B., Koman, W. A. F. (2025). Analisis Model Regresi Spasial Kasus Tuberkulosis (TB) di Provinsi Sumatera Utara Menggunakan Ordinary Least Squares (OLS) dan Geographically Weighted Regression (GWR). *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 5(2), 1-16. <https://doi.org/10.31315/imagi.v5i2.15604>.

1. PENDAHULUAN

Tuberkulosis (TB) masih menjadi tantangan kesehatan global yang besar dan termasuk penyebab utama kematian akibat penyakit menular di dunia (WHO, 2021). Penyakit ini umumnya disebabkan oleh *Mycobacterium tuberculosis*, yang paling sering menyerang paru-paru (TB paru), namun juga dapat menyerang organ lain (TB ekstrapulmoner) (Ahmed dkk, 2018). Penyebaran dan prevalensi TB dipengaruhi oleh berbagai faktor determinan. Faktor ketersediaan fasilitas kesehatan, seperti jumlah puskesmas atau pusat layanan TB per wilayah, berperan penting dalam deteksi dan penanganan kasus TB (Andini & Oktora, 2022). Faktor sosial-ekonomi, termasuk kemiskinan, densitas penduduk, dan akses ke layanan kesehatan juga secara konsisten dilaporkan sebagai pendorong utama kejadian TB (Putra dkk, 2022). Di samping itu, faktor lingkungan, seperti kondisi iklim dan keberadaan aktivitas pertanian atau peternakan, juga dapat mempengaruhi distribusi TB melalui mekanisme biologis dan sosial (Tosepu dkk, 2024; Çelik dkk, 2025).

Metode analisis spasial telah digunakan secara luas dalam epidemiologi untuk mengungkap pola dan determinan penyakit menular. Beberapa teknik yang umum digunakan meliputi analisis tren waktu, agregasi spasial, pengelompokan (*clustering*), interpolasi, dan regresi spasial (Shaweno dkk, 2018). Untuk kasus TB, penelitian-penelitian terkini telah mengaplikasikan statistik autokorelasi seperti Global Moran's I dan Getis-Ord G_i^* untuk mendeteksi kluster spasial (Tadesse dkk, 2018), serta pendekatan spatiotemporal Bayesian untuk mengaitkan kasus TB dengan faktor demografi dan sosial-ekonomi (Li dkk, 2019).

Dalam kajian regresi spasial, model *Geographically Weighted Regression* (GWR) sering dibandingkan dengan model regresi global seperti *Ordinary Least Squares* (OLS). Hasilnya menunjukkan bahwa GWR mampu menangkap variasi lokal dalam relasi antara faktor prediktor dan kasus TB, sehingga sering menghasilkan penjelasan yang lebih baik di skala wilayah (Wei dkk, 2016; Wang dkk, 2019; Dangisso dkk, 2020). Namun demikian, studi yang menerapkan regresi spasial multivariat (bukan hanya satu atau dua variabel) pada kawasan yang relatif luas di Indonesia, seperti misalnya pada tingkat provinsi masih relatif terbatas.

Secara global, 30 negara penyumbang beban TB terbesar mencakup 86 % dari total kasus TB dunia, dan Indonesia menempati posisi penting di antara negara-negara tersebut (WHO, 2021). Dalam laporan WHO tahun 2020, diperkirakan terdapat 845.000 kasus TB di Indonesia dan sekitar 98.000 jiwa meninggal setiap tahun, sehingga secara kasar setara dengan 11 kematian per jam (WHO, 2020). Di tingkat regional, Provinsi Sumatera Utara menunjukkan tren peningkatan angka penemuan kasus TB. Antara tahun 2017 dan 2019, penemuan kasus TB di provinsi ini melonjak antara 25–54% menurut data BPS (BPS, 2018; BPS, 2019; BPS, 2020). Kota Medan, sebagai pusat aktivitas sosial-ekonomi, politik, dan budaya di provinsi tersebut, tercatat sebagai wilayah dengan kontribusi kasus signifikan, yakni sekitar 63 % dari penemuan kasus TB di Provinsi Sumatera Utara. Hal ini menegaskan pentingnya pemahaman spasial atas distribusi dan determinan TB di wilayah tersebut.

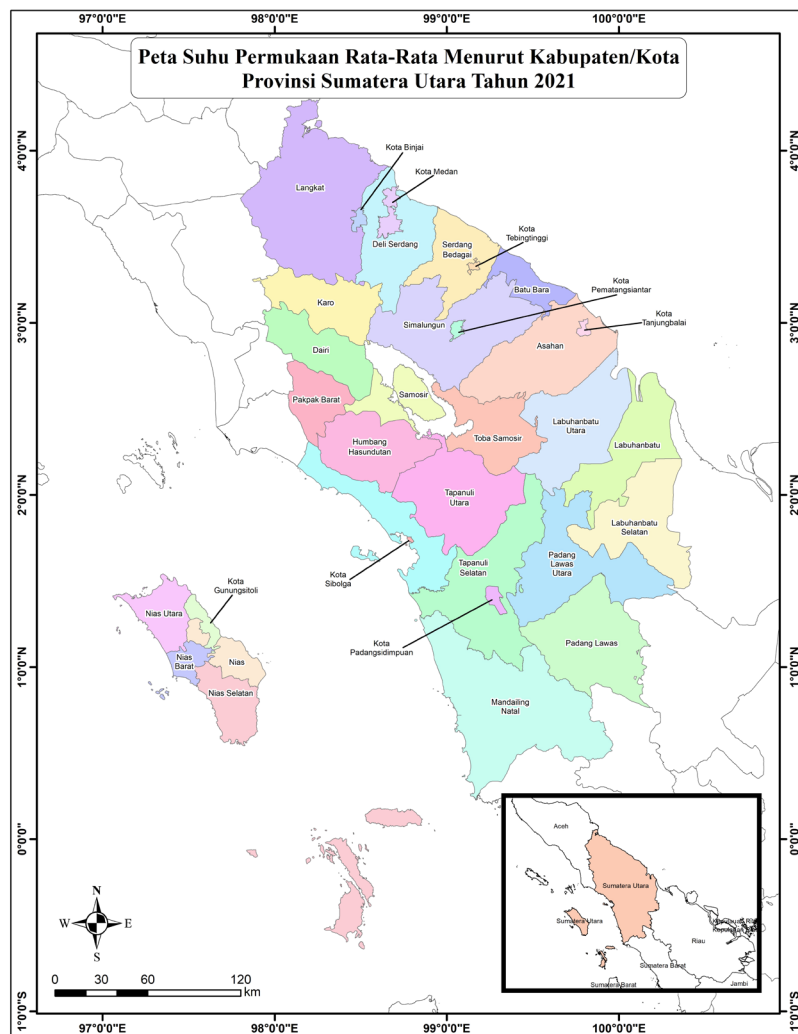
Meski telah banyak penelitian spasial TB di Indonesia, jarang ditemukan studi yang secara khusus memfokuskan pada TB paru di Sumatera Utara menggunakan pendekatan regresi spasial multivariat. Beberapa penelitian terkait secara nasional atau di pulau Jawa menggunakan GWR (Putra dkk, 2022; Octavianty dkk, 2017) dan analisis spasial TB (Putra dkk, 2022; Mallongi & Dwinata, 2020). Namun, hingga saat ini belum ada penelitian yang menggabungkan variabel ketersediaan sarana kesehatan dan faktor sosial-demografi secara spasial di provinsi Sumatera Utara.

Dengan mempertimbangkan kekosongan penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis distribusi spasial kasus TB paru di Provinsi Sumatera Utara tahun 2021 menggunakan metode OLS dan GWR dengan mempertimbangkan variabel ketersediaan sarana kesehatan dan indikator sosial-demografi berdasarkan data BPS 2021. Diharapkan penelitian ini dapat menghasilkan pemahaman lokal yang lebih tajam terhadap pendorong spasial TB dan memberikan rekomendasi kebijakan yang bersifat regional dan spesifik.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Area Studi

Area studi untuk pemodelan OLS dan GWR pada penelitian ini adalah Provinsi Sumatera Utara (Sumut) dengan pemrosesan parameter pada skala Kabupaten/Kota (Gambar 1). Sumatera Utara terletak di bagian Utara pulau Sumatra. Provinsi Sumatera Utara memiliki ibu kota di Kota Medan dengan luas wilayah mencapai 72.981,23 km². Provinsi ini menempati urutan keempat dengan jumlah penduduk terbanyak di Indonesia, setelah Jawa Barat, Jawa Timur, dan Jawa Tengah, serta menjadi provinsi dengan populasi terbesar di Pulau Sumatra. Hingga 30 Juni 2022, jumlah penduduknya tercatat sebanyak 15.305.230 jiwa dengan kepadatan sekitar 210 jiwa per km². Secara geografis, Sumatera Utara terletak pada koordinat 1°–4° LU dan 98°–100° BT.



Gambar 1. Area studi Provinsi Sumatera Utara

2.2 Alat & Bahan

Data yang digunakan pada penelitian ini secara umum adalah data tabular dari BPS yang kemudian di-input ke dalam atribut data spasial.

- Data Kasus Terkonfirmasi Tuberkulosis Menurut Kabupaten/Kota Provinsi Sumatera Utara Tahun 2021. Data ini digunakan sebagai variabel dependen.

Sumber : Sumatera Utara dalam Angka 2022 – Badan Pusat Statistik

Jumlah Data : 33 data (tiap kabupaten/kota)

Nama atribut : KASUSTB

- Data Variabel Independen (menurut Kabupaten/Kota Provinsi Sumatera Utara Tahun 2021)

Tabel 1. Rincian variabel independen dari data kasus TB

Variabel	Deskripsi	Nama Atribut	Sumber	Jumlah Data
Data Kepadatan Penduduk	Kepadatan penduduk dalam satuan jiwa/km ²	KPDTN	Provinsi Sumatera Utara dalam Angka Tahun 2021 – Badan Pusat Statistik	33 data (tiap kabupaten/kota)
Data Jumlah Sapi Ternak	Jumlah sapi ternak (sapi biasa maupun sapi perah) sebagai pertimbangan penyebar virus TB sapi kepada manusia	JML_TERNAK		
Data Jumlah Fasilitas Kesehatan	Jumlah total rumah sakit dan puskesmas di tiap kabupaten/kota	JML_FASKES		
Data Jumlah Penduduk Miskin	Jumlah penduduk yang memiliki kondisi ekonomi di bawah garis kemiskinan Provinsi Sumatera Utara	JML_MISKIN		

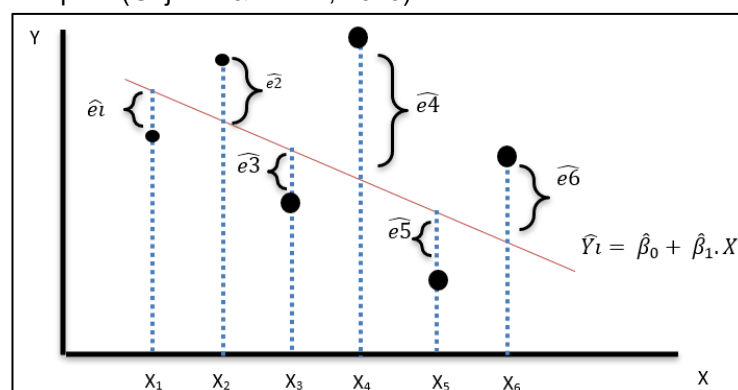
- c. Data spasial Batas Wilayah Kabupaten/Kota Provinsi Sumatera Utara
 Sumber : Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Skala 1:50.000
 Format : *Shapefile*
 Deskripsi : Digunakan sebagai layer pengisian atribut parameter pemodelan kasus TB

2.3 Metode

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan analisis spasial. Metode yang digunakan adalah regresi OLS dan GWR untuk menganalisis hubungan antara kasus Tuberkulosis (TB) paru dengan variabel sosial-demografi dan ketersediaan sarana kesehatan.

2.3.1 Ordinary Least Squares

Dalam penelitian ini, analisis regresi digunakan untuk menjelaskan hubungan antara jumlah kasus TB paru di setiap kabupaten/kota di Provinsi Sumatera Utara dengan sejumlah faktor sosial-demografi dan ketersediaan sarana kesehatan. Model regresi berfungsi untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variabel independen (misalnya kepadatan penduduk, tingkat kemiskinan, jumlah fasilitas kesehatan, rasio tenaga kesehatan, dan tingkat pendidikan) terhadap variabel dependen, yaitu jumlah kasus TB paru (Gujarati & Porter, 2020).



Gambar 2. Ilustrasi residual pada OLS

Sebagai model dasar digunakan OLS, yaitu regresi linear global yang menghasilkan satu persamaan untuk seluruh wilayah penelitian. Model OLS dituliskan sebagai:

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^n \beta_k(u_i, v_i)X_{ki} + \varepsilon_i \quad (1)$$

dengan Y_i = jumlah kasus TB paru, β_0 = konstanta, β_k = koefisien regresi untuk setiap variabel independen, X_{ki} = variabel independen, dan ε_i = error (residual). Gabungan antara persamaan regresi OLS dan residualnya diilustrasikan pada Gambar 2.

2.3.2 Geographically Weighted Regression

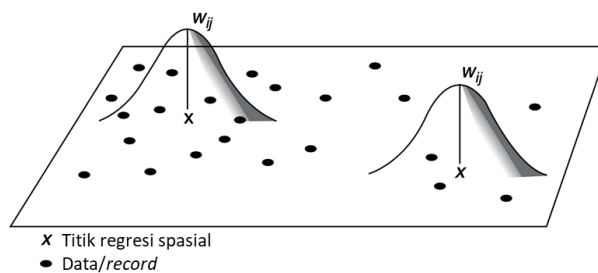
OLS memiliki keterbatasan karena mengasumsikan bahwa hubungan antara faktor sosial-demografi dan kasus TB sama di seluruh wilayah (Fotheringham dkk, 2017). Padahal, kondisi spasial di Provinsi Sumatera Utara sangat bervariasi. Misalnya, Kota Medan dengan kepadatan penduduk tinggi tentu memiliki pola hubungan yang berbeda dengan kabupaten rural seperti Nias atau Pakpak Barat.

Untuk mengatasi hal tersebut digunakan GWR, yang memungkinkan setiap kabupaten/kota memiliki koefisien regresi berbeda sesuai dengan kondisi spasialnya (Wei dkk, 2016; Wang dkk, 2019), sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 3. Persamaan GWR dituliskan sebagai:

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^n \beta_k(u_i, v_i)X_{ki} + \varepsilon_i \quad (2)$$

dengan (u_i, v_i) adalah koordinat spasial kabupaten/kota ke- i , dan $\beta_k(u_i, v_i)$ menunjukkan koefisien regresi yang bervariasi antar lokasi (Fotheringham dkk, 2017).

Dalam konteks TB di Sumatera Utara, GWR bermanfaat untuk menangkap heterogenitas spasial. Misalnya, di wilayah perkotaan padat seperti Medan, kepadatan penduduk berpotensi menjadi faktor dominan, sedangkan di wilayah perdesaan, jumlah fasilitas kesehatan atau rasio tenaga kesehatan lebih berpengaruh terhadap jumlah kasus TB (Putra dkk, 2022). Dengan demikian, kombinasi OLS dan GWR memungkinkan peneliti memahami faktor umum sekaligus variasi lokal, sehingga hasilnya lebih tepat sasaran untuk mendukung kebijakan penanggulangan TB.



Gambar 3. Ilustrasi spasial model GWR

2.3.3 Analisis Korelasi

Analisis korelasi digunakan untuk menilai sejauh mana kekuatan serta arah hubungan antara dua variabel. Dalam penelitian ini, analisis korelasi diterapkan untuk mengetahui hubungan awal antara jumlah kasus TB paru dengan variabel-variabel independen pada penelitian ini. Metode yang paling umum digunakan adalah korelasi Pearson (*Product Moment Correlation*), dengan rumus sebagai berikut:

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \cdot \sum(Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3)$$

dengan r = koefisien korelasi ($-1 \leq r \leq +1$), X_i = nilai variabel independen, Y_i = nilai variabel dependen (kasus TB paru), serta \bar{X} , \bar{Y} = nilai rata-rata masing-masing variabel. Kekuatan hubungan biasanya diinterpretasikan sebagai: sangat lemah (0–0,19), lemah (0,20–0,39), sedang (0,40–0,59), kuat (0,60–0,79), sangat kuat (0,80–1,00) (Dancey & Reidy, 2017). Analisis korelasi dalam penelitian ini berfungsi sebagai langkah awal untuk memahami pola hubungan antar variabel, sekaligus memastikan variabel yang masuk ke dalam model regresi benar-benar relevan dengan kasus TB paru di Sumatera Utara.

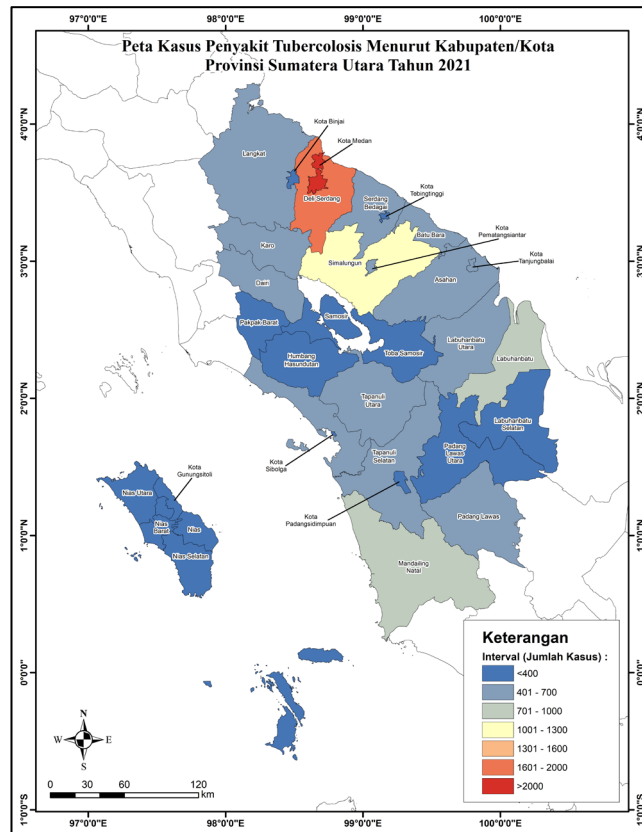
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Visualisasi Distribusi Spasial Masing-masing Variabel

Sebagai langkah awal analisis, penelitian ini memaparkan distribusi spasial dari variabel dependen dan independen pada level kabupaten/kota di Provinsi Sumatera Utara tahun 2021. Visualisasi ini bertujuan untuk memberikan gambaran awal mengenai pola penyebaran kasus TB paru dan keterkaitannya dengan faktor sosial-demografi serta ketersediaan sarana kesehatan. Dikarenakan tidak meratanya distribusi nilai untuk masing-masing daerah, hampir seluruh peta visualisasi menggunakan klasifikasi interval *natural breaks (jenks)*.

3.1.1 Visualisasi Spasial Variabel Dependen

Kasus TB paru (sebagai variabel dependen) tersebar di seluruh kabupaten/kota, dengan konsentrasi tertinggi berada di wilayah perkotaan seperti Kota Medan (Gambar 4). Hal ini sejalan dengan peran Medan sebagai pusat kegiatan sosial, ekonomi, dan mobilitas penduduk yang tinggi. Kasus TB mayoritas terpusat di Medan dan Deli Serdang dengan jumlah kasus mencapai ~2000. Kabupaten yang berada di luar daratan utama (Nias dan Gunungsitoli) relatif memiliki jumlah kasus yang jauh lebih sedikit. Sementara itu, beberapa kabupaten dengan jumlah penduduk lebih rendah, seperti Pakpak Bharat dan Nias Barat, menunjukkan jumlah kasus relatif kecil.

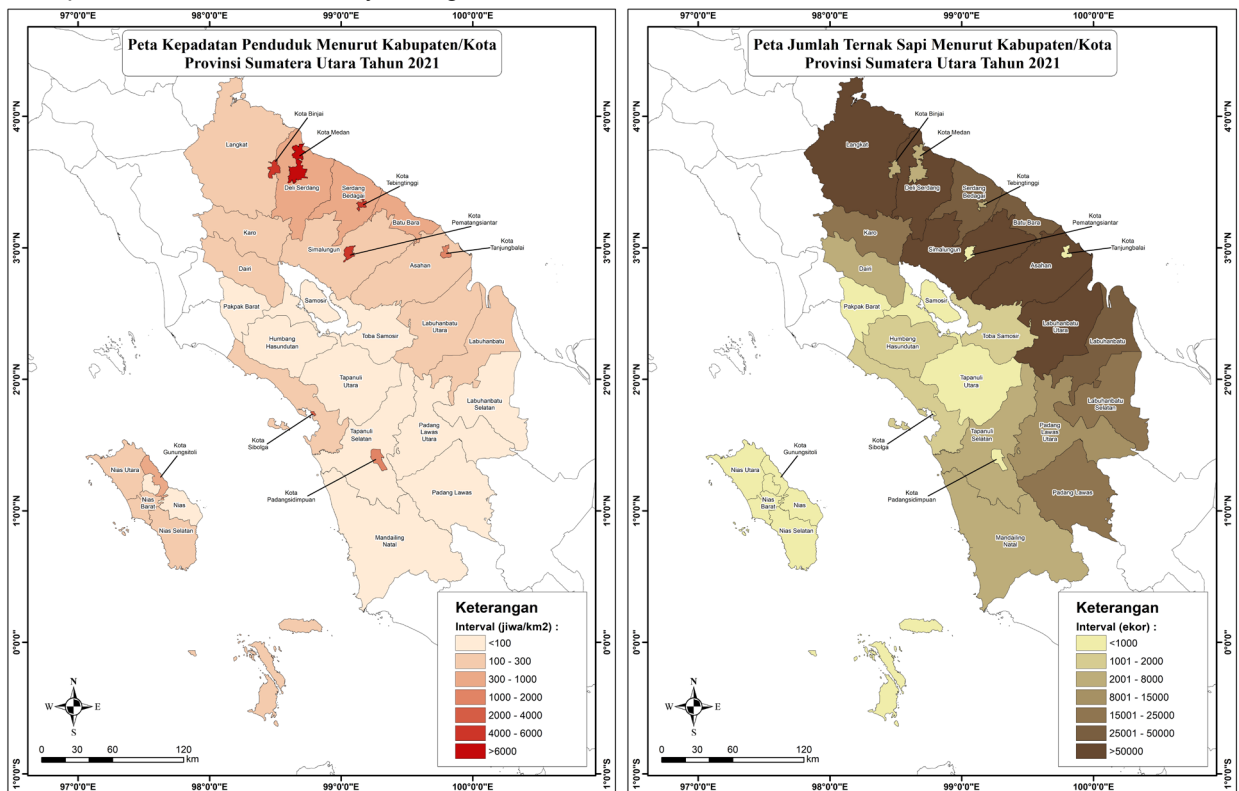


Gambar 4. Visualisasi variabel kasus TB

3.1.2 Distribusi Spasial Variabel Independen

Gambar 5 menunjukkan visualisasi variabel kepadatan penduduk dan jumlah ternak sapi secara spasial. Distribusi kepadatan penduduk memperlihatkan perbedaan mencolok antarwilayah. Kota Medan dan kota-kota besar lain di sekitarnya memiliki tingkat kepadatan penduduk yang tinggi, sedangkan kabupaten dengan luas wilayah besar namun jumlah penduduk relatif sedikit, seperti Labuhan Batu Selatan atau Humbang Hasundutan, memiliki kepadatan penduduk yang jauh lebih rendah. Perbedaan ini diduga berhubungan dengan variasi jumlah kasus TB yang terdeteksi.

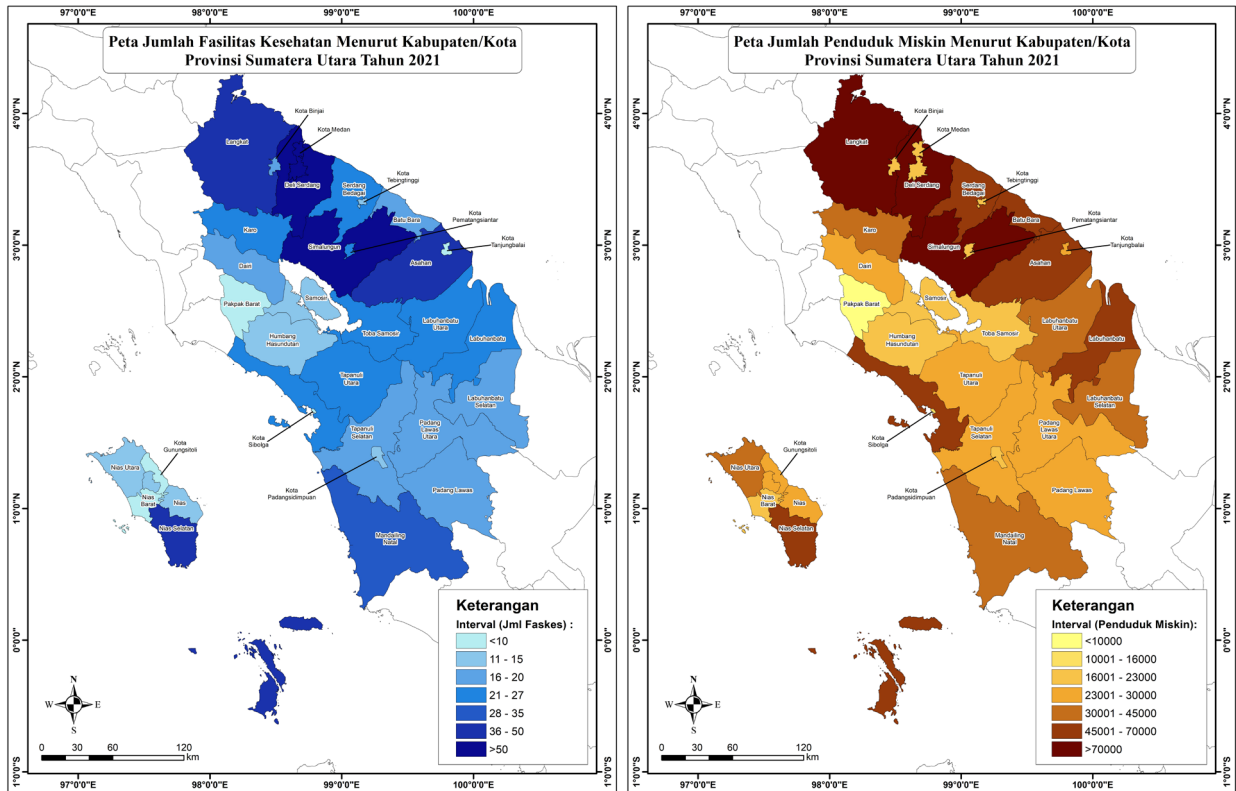
Sementara itu, sebaran populasi sapi ternak cukup dominan di wilayah perdesaan. Hal ini penting untuk dianalisis karena keberadaan sapi berpotensi menjadi media penyebaran *Mycobacterium bovis*, meskipun kontribusinya terhadap kasus TB manusia masih diperdebatkan. Daerah di sebelah Utara dan Timur Provinsi Sumut rata-rata memiliki jumlah sapi ternak yang cukup banyak (>50000 ekor). Sedangkan di daerah sebelah Barat hingga Kepulauan Nias memiliki jumlah sapi ternak yang relatif sedikit. Daerah perkotaan (Medan dan Deli Serdang) memiliki jumlah sapi ternak yang sedikit meskipun dikelilingi oleh kabupaten dengan jumlah sapi ternak yang tinggi. Wilayah dengan jumlah ternak tinggi, seperti kabupaten di kawasan Tapanuli dan Nias, perlu diperhatikan dalam kaitannya dengan kasus TB.



Gambar 5. Visualisasi variabel kepadatan penduduk (kiri) dan jumlah ternak sapi (kanan)

Gambar 6 menunjukkan distribusi spasial pada variabel jumlah fasilitas kesehatan dan jumlah penduduk miskin. Ketersediaan fasilitas kesehatan menunjukkan konsentrasi lebih tinggi di wilayah perkotaan dibandingkan perdesaan. Kota Medan, Deli Serdang, dan Nias Selatan memiliki jumlah fasilitas kesehatan relatif banyak. Sementara pada daerah kepulauan, berbeda dengan Nias Selatan, Nias Barat dan Gunungsitoli memiliki keterbatasan jumlah fasilitas kesehatan. Kondisi ini berpotensi memengaruhi tingkat deteksi maupun penanganan kasus TB. Berdasarkan Gambar 7, Medan, Deli Serdang, Simalungun, dan Nias Selatan memiliki jumlah fasilitas kesehatan lebih dari 50 fasilitas. Sedangkan di daerah lain cukup merata sesuai dengan luas daerahnya.

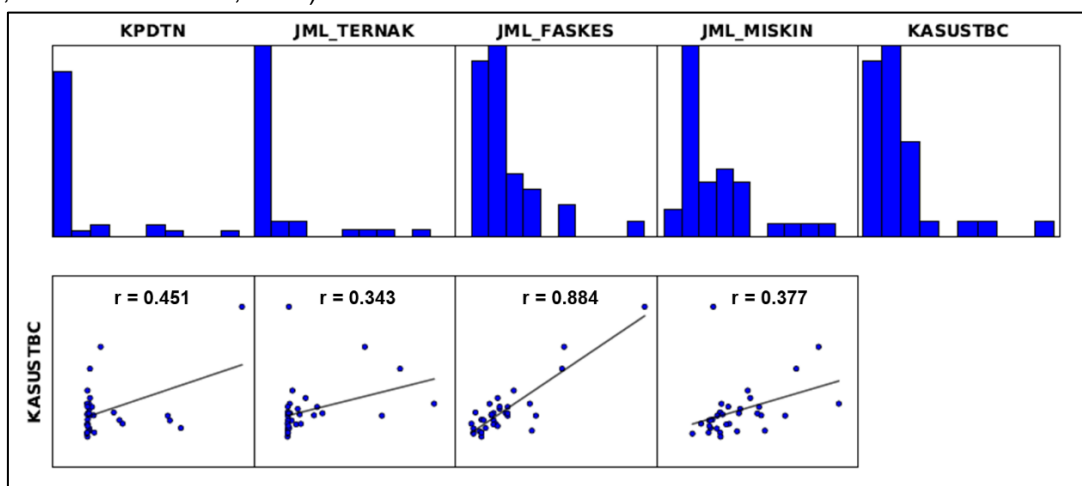
Distribusi penduduk miskin cukup tinggi di kabupaten perdesaan, terutama di wilayah pegunungan dan kepulauan. Faktor sosial-ekonomi ini menjadi salah satu determinan penting dalam penyebaran TB, mengingat keterbatasan akses terhadap layanan kesehatan dan kondisi lingkungan yang kurang mendukung kesehatan masyarakat. Selain memiliki jumlah penduduk dan kepadatan yang lebih tinggi daripada daerah lainnya, kabupaten di sebelah Utara memiliki jumlah penduduk miskin yang juga banyak (melebihi 70.000 penduduk). Sedangkan di daerah lain berkisar antara 16.000 hingga 45.000 penduduk miskin. Kabupaten Pakpak Barat memiliki jumlah penduduk miskin yang paling rendah di Sumatera Utara dengan jumlah yang kurang dari 10 ribu penduduk.



Gambar 6. Visualisasi variabel jumlah fasilitas kesehatan dan jumlah penduduk miskin

3.2 Analisis Korelasi

Hasil korelasi menunjukkan bahwa variabel jumlah fasilitas kesehatan (JML_FASKES) memiliki hubungan yang paling kuat dengan jumlah kasus TB paru di Sumatera Utara. Korelasi positif ini dapat dijelaskan oleh mekanisme deteksi kasus, di mana wilayah dengan fasilitas kesehatan lebih banyak memiliki kapasitas lebih baik dalam menemukan, mendiagnosis, dan mencatat kasus TB. Dengan demikian, tingginya jumlah kasus TB di wilayah tertentu tidak semata-mata mencerminkan tingkat penularan yang lebih besar, tetapi juga mencerminkan proses deteksi yang lebih optimal (Uplekar dkk, 2016; Naidoo & Perumal, 2023).



Gambar 7. Distribusi variabel dan korelasi antara variabel dependen dengan masing-masing variabel independen

Sementara itu, tiga variabel independen lainnya—kepadatan penduduk ($r = 0,451$), jumlah sapi ternak ($r = 0,343$), dan jumlah penduduk miskin ($r = 0,377$)—menunjukkan hubungan yang relatif rendah dengan kasus TB. Meskipun kepadatan penduduk sering diasosiasikan dengan peningkatan risiko

penyakit menular (Wang dkk, 2019), korelasi yang sedang ini mengindikasikan bahwa faktor tersebut bukan satu-satunya determinan dalam penyebaran TB di Sumatera Utara. Hal serupa berlaku pada jumlah penduduk miskin, yang meskipun berpengaruh terhadap akses layanan kesehatan dan kerentanan sosial, tidak selalu berbanding lurus dengan jumlah kasus yang terdeteksi (Nyamu, 2020). Variabel jumlah sapi ternak bahkan menunjukkan hubungan yang lemah, yang mendukung temuan bahwa kontribusi *Mycobacterium bovis* terhadap kasus TB paru manusia umumnya kecil, meski masih relevan di wilayah dengan aktivitas peternakan intensif (Devi dkk, 2019).

Temuan ini memiliki dua implikasi penting. Pertama, hasil korelasi menegaskan perlunya analisis multivariat untuk melihat pengaruh variabel secara bersamaan, karena hubungan sederhana (bivariat) tidak selalu mampu menangkap kompleksitas interaksi spasial (Gujarati & Porter, 2020). Kedua, korelasi tinggi antara kasus TB dan jumlah fasilitas kesehatan harus ditafsirkan dengan hati-hati, karena variabel ini juga merefleksikan fenomena deteksi kasus (*case detection bias*), bukan hanya faktor risiko sebenarnya (Rood dkk, 2019).

3.3 Analisis Hasil Model *Ordinary Least Squares*

Pemodelan OLS dilakukan untuk mengetahui hubungan linier antara variabel dependen, yaitu jumlah kasus TB paru di Provinsi Sumatera Utara, dengan variabel-variabel independen yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu kepadatan penduduk, jumlah sapi ternak, jumlah fasilitas kesehatan, dan jumlah penduduk miskin. OLS dipilih sebagai tahap awal analisis karena model ini mampu memberikan gambaran umum mengenai arah dan besaran pengaruh masing-masing variabel independen terhadap variabel dependen, serta menilai signifikansi statistiknya. Tabel 2 berikut ini menunjukkan analisis statistik hasil pemodelan OLS pada studi kasus TB Sumatera Utara tahun 2021.

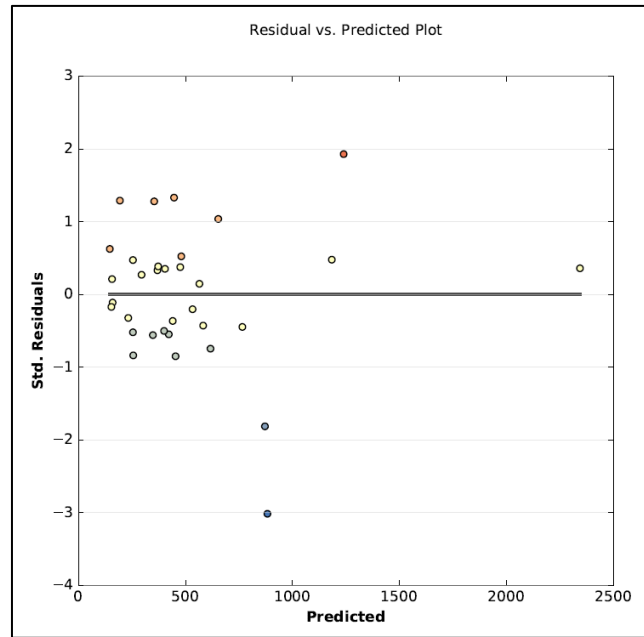
Tabel 2. Hasil statistik pemodelan OLS pada studi kasus TB Sumut 2021

Statistik	Nilai	Probabilitas (p-value)
Jumlah Observasi	33	–
Multiple R-Squared	0,785521	0,000000*
Adjusted R-Squared	0,754881	0,000000*
Joint F-Statistic	25,637258	0,000000*
Joint Wald Statistic	380,703470	0,000000*
Koenker (BP) Statistic	10,444624	0,033568*
Jarque-Bera Statistic	8,936315	0,011468*
Akaike's Information Criterion (AICc)	464,477171	–

*) uji signifikansi pada $\alpha = 0,05$

Model regresi OLS yang diperoleh menunjukkan koefisien determinasi (*Multiple R-Squared*) sekitar 0,785 dan *Adjusted R-Squared* sekitar 0,755, yang berarti bahwa sekitar 75-79 % varians jumlah kasus TB paru di Provinsi Sumatera Utara dapat dijelaskan oleh variabel independen (kepadatan penduduk, jumlah sapi ternak, jumlah fasilitas kesehatan, dan jumlah penduduk miskin). Nilai ini mencerminkan fit model yang cukup baik. Hal ini serupa dengan studi spasial TB di Nepal yang melaporkan R^2 sekitar 0,65 menggunakan model spasial dan regresi linear global (Mahato dkk, 2025).

Selanjutnya, F-statistic dan Wald test keduanya signifikan secara sangat tinggi ($p < 0,001$), menegaskan bahwa sekumpulan variabel independen secara kolektif berpengaruh terhadap variasi kasus TB paru. Namun demikian, ada indikasi pelanggaran terhadap beberapa asumsi klasik OLS. Koenker (BP) test yang signifikan menunjukkan heteroskedastisitas, yakni varians residual tidak konstan antar kabupaten/kota, yang dapat menyebabkan standar error yang diestimasi menjadi bias dan uji-t atau interval kepercayaan menjadi kurang reliabel (Cattaneo dkk, 2018). Selain itu, uji Jarque-Bera yang juga signifikan mengindikasikan residual tidak terdistribusi normal, sehingga pelanggaran asumsi normalitas bisa memengaruhi validitas uji-signifikansi, terutama untuk parameter-parameter dengan jumlah sampel yang tidak terlalu besar.



Gambar 8. Hasil residual plot OLS TB Sumut

Secara deskriptif, meskipun model OLS memberikan gambaran global yang kuat, pelanggaran asumsi ini mengisyaratkan bahwa OLS terindikasi kurang mampu menangkap variasi lokal antar wilayah. Misalnya, kabupaten kota dengan kepadatan penduduk sangat tinggi dapat memiliki pola perilaku residual yang berbeda dibanding kabupaten perdesaan yang memiliki populasi rendah. Oleh karena itu, hasil ini memperkuat justifikasi untuk melanjutkan ke model regresi spasial seperti GWR, yang memungkinkan koefisien dan varians residual bervariasi secara spasial dan lebih mampu menyesuaikan dengan heterogenitas antar wilayah (Mahato dkk, 2025).

3.4 Analisis Hasil Model *Geographically Weighted Regression*

Setelah dilakukan pemodelan regresi dengan metode OLS, diketahui bahwa model global sudah mampu menjelaskan variasi kasus TB paru di Provinsi Sumatera Utara dengan cukup baik. Namun, hasil uji diagnostik menunjukkan adanya indikasi pelanggaran asumsi klasik berupa heteroskedastisitas dan non-normalitas residual. Hal ini mengisyaratkan bahwa hubungan antara kasus TB dengan variabel independen tidak bersifat seragam di seluruh wilayah, melainkan bervariasi secara spasial antar kabupaten/kota. Oleh karena itu, pendekatan GWR diterapkan untuk menangkap keragaman spasial pada studi kasus penelitian ini.

Tabel 3. Hasil statistik pemodelan GWR pada studi kasus TB Sumut 2021

Statistik	Nilai
<i>Bandwidth</i> (meter)	189068.346703
<i>Residual Squares</i>	819290.244998
<i>Effective Number</i>	9.491925
Sigma	186.685403
AICc	452.644277
R ²	0.888698*
R ² <i>Adjusted</i>	0.8484917*

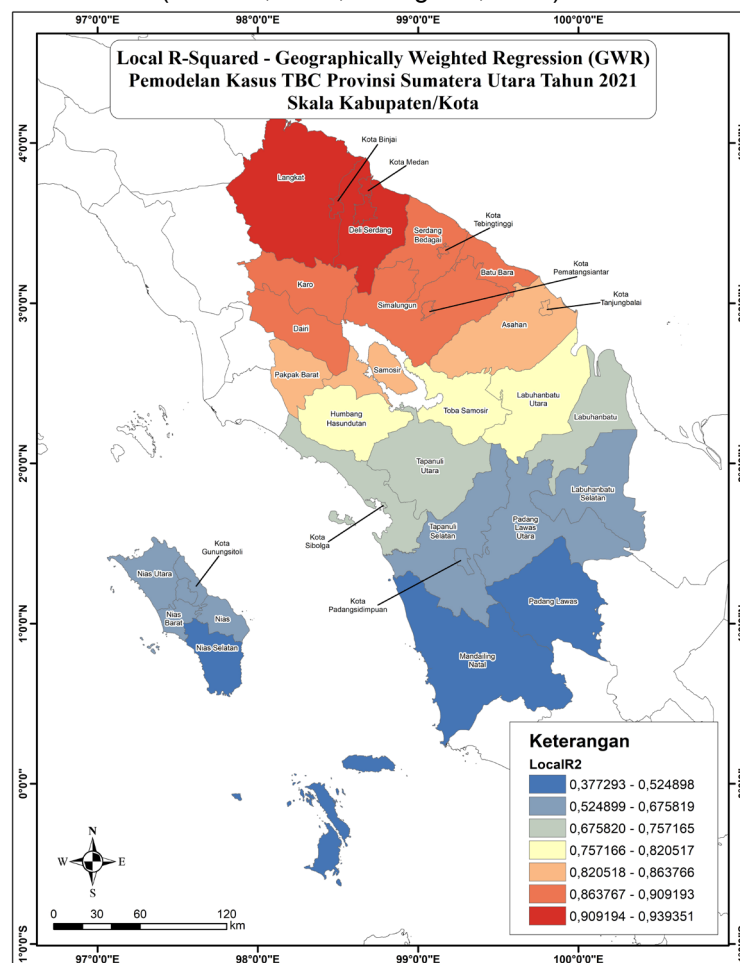
*) signifikan pada $\alpha = 0,05$

Hasil pemodelan GWR TB Sumut 2021 (Tabel 3) menunjukkan bahwa model lokal memiliki kemampuan penjelasan yang lebih baik dibandingkan model global OLS. Nilai R² sebesar 0,8887 dan *Adjusted R²* sebesar 0,8485 mengindikasikan bahwa sekitar 85–89% variasi kasus tuberkulosis paru di kabupaten/kota Sumatera Utara dapat dijelaskan oleh variabel independen dalam model. Tingginya nilai

determinasi ini menunjukkan adanya heterogenitas spasial dalam hubungan antarvariabel, sehingga pendekatan GWR lebih tepat dibandingkan OLS global yang mengasumsikan hubungan homogen di seluruh wilayah (Wei dkk, 2016; Wang dkk, 2019). Dengan demikian, faktor-faktor seperti kepadatan penduduk, jumlah fasilitas kesehatan, dan kondisi sosial-ekonomi terbukti tidak memberikan pengaruh yang seragam di semua lokasi.

Selain itu, nilai AICc sebesar 452,64 yang lebih rendah dibandingkan dengan model global memperkuat bukti bahwa GWR lebih efisien dalam menjelaskan variasi data spasial. Penurunan nilai AICc mengindikasikan keseimbangan yang lebih baik antara kompleksitas model dan kemampuan penjelasan, sehingga GWR dipandang sebagai model yang lebih informatif (Oshan dkk, 2019). Lebih lanjut, *bandwidth* sebesar 189.068,35 menggambarkan skala spasial yang digunakan dalam pembobotan lokal. Nilai ini menunjukkan bahwa model memperhitungkan pengaruh observasi dalam jarak yang relatif luas, sehingga estimasi koefisien mencerminkan pola yang lebih regional (Fotheringham dkk, 2017; Oshan dkk, 2019).

Kompleksitas model juga tercermin dari *effective number* sebesar 9,49, yang menandakan jumlah parameter efektif yang digunakan GWR. Nilai ini relatif lebih besar dibandingkan model global namun masih jauh lebih kecil dibandingkan jumlah observasi ($n = 33$), sehingga risiko *overfitting* dapat dikatakan rendah. Sementara itu, *residual squares* sebesar 819.290,24 dan Sigma sebesar 186,69 menunjukkan masih adanya deviasi prediksi dari nilai observasi. Dalam konteks kasus tuberkulosis, nilai ini merefleksikan adanya faktor-faktor lain yang belum terakomodasi dalam model, baik berupa variabel sosial-demografis maupun faktor lingkungan. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis lanjutan melalui peta residual dan uji autokorelasi spasial untuk memastikan bahwa sisa kesalahan tidak lagi membentuk pola spasial tertentu (Wei dkk, 2016; Zhang dkk, 2019).



Gambar 9. Visualisasi Local R-Squared Model GWR TB Sumut 2021

Salah satu keunggulan utama metode GWR dibandingkan OLS adalah kemampuannya menghasilkan nilai *Local R-squared* (R^2 lokal), yang menggambarkan variasi kemampuan model dalam menjelaskan hubungan antara variabel independen dengan variabel dependen pada tiap wilayah pengamatan. Pada peta yang ditampilkan (Gambar 9), nilai R^2 lokal bervariasi antara 0,37 hingga 0,93, menunjukkan adanya heterogenitas spasial yang cukup besar dalam hubungan faktor-faktor penentu terhadap kasus TB paru di Provinsi Sumatera Utara. Di beberapa wilayah selatan dan tengah (seperti Padang Lawas Utara, Mandailing Natal, dan daerah sekitarnya), *Local R²* mendekati nilai maksimum (0,90-0,93), menandakan bahwa variabel independen yang digunakan (kepadatan penduduk, faskes, jumlah sapi, kemiskinan) sangat relevan di wilayah tersebut. Di wilayah utara seperti Langkat, Karo, dan Pakpak Barat, nilai *Local R²* lebih rendah (sekitar 0,37-0,52), yang mengindikasikan bahwa variabel model kurang mampu menjelaskan variasi kasus TB paru. Hal ini dapat disebabkan karena faktor-faktor lokal tambahan seperti akses geografis, kualitas data, atau variabel risiko spesifik yang belum dimasukkan ke dalam model.

Perbedaan spasial pada *Local R²* ini sejalan dengan temuan di studi Jawa Barat yang menunjukkan bahwa kemampuan GWR memetakan faktor risiko TB berbeda antar distrik/kota tergantung kondisi lokal (Riznawati dkk, 2023), serta studi stunting nasional yang menemukan bahwa determinan stunting memiliki efek yang sangat bervariasi antar provinsi dengan *Local R²* yang berbeda-beda (Kurniawati dkk, 2025). Untuk Sumatera Utara, *Local R²* ini menegaskan bahwa kebijakan penanggulangan TB harus dirancang dengan mempertimbangkan konteks lokal: wilayah dengan R^2 tinggi dapat memakai strategi berdasarkan variabel yang sudah diidentifikasi dalam model, sedangkan wilayah dengan R^2 rendah memerlukan penelitian tambahan dan penambahan variabel lokal agar intervensi lebih efektif.

3.5 Perbandingan Hasil OLS dan GWR

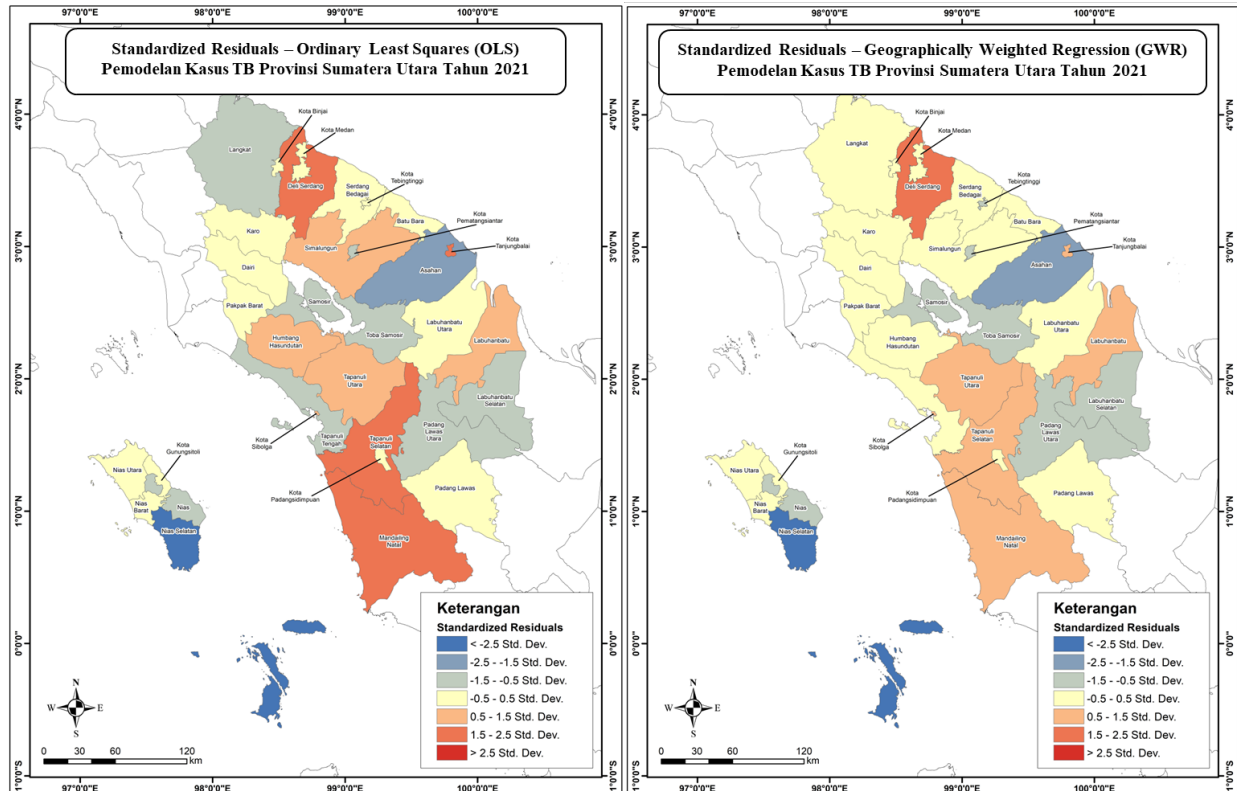
Analisis perbandingan berdasarkan indikator statistik yang sudah dipaparkan di atas dapat dirangkum dalam tabel perbandingan statistik kedua model pada Tabel 4. Pemodelan OLS memberikan gambaran global tentang hubungan antara variabel independen dengan kasus TB di Sumatera Utara. Model ini mengasumsikan bahwa hubungan antar-variabel bersifat homogen di seluruh wilayah penelitian. Namun, hasil sebelumnya menunjukkan bahwa meskipun OLS mampu memberikan ukuran global seperti nilai R^2 , model ini cenderung mengabaikan variasi spasial yang signifikan antar kabupaten/kota. Hal ini dapat membatasi interpretasi, khususnya ketika faktor risiko TB tidak seragam di seluruh wilayah (Anselin, 2022).

Tabel 4. Tabel perbandingan performa model OLS dan GWR studi kasus TB Sumut 2021

Indikator	OLS	GWR	Interpretasi
R^2	0,7855	0,8887	GWR jauh lebih baik menjelaskan variasi kasus TB Sumut 2021
<i>Adjusted R²</i>	0,7549	0,8485	GWR tetap unggul meskipun memperhitungkan kompleksitas model
AICc	464,48	452,64	GWR lebih efisien (nilai AICc lebih rendah)
Kemampuan menjelaskan variasi spasial	Global homogen	Lokal bervariasi (<i>Local R²</i> = 0,37–0,93)	GWR mampu menangkap heterogenitas spasial

Sebaliknya, GWR memperlihatkan performa yang lebih baik dalam menangkap variasi spasial. Berdasarkan hasil analisis, nilai *Adjusted R²* GWR (0,848) lebih tinggi dibandingkan OLS, yang menandakan peningkatan kemampuan model dalam menjelaskan variasi kasus TB. Selain itu, keberadaan *Local R²* pada GWR memungkinkan identifikasi wilayah dengan kesesuaian model yang tinggi (seperti Padang Lawas Utara dan Mandailing Natal) maupun rendah (seperti Langkat dan Karo). Dengan demikian, GWR tidak hanya unggul secara statistik tetapi juga secara substantif, karena mampu memberikan wawasan lokal untuk mendukung kebijakan berbasis wilayah (Fotheringham dkk, 2017; Riznawati dkk, 2023).

Sementara itu, perbandingan visualisasi *standardized residuals* (Gambar 10) menunjukkan bahwa model OLS masih menghasilkan kesalahan prediksi yang cukup besar dan membentuk pola kluster spasial. Misalnya, Kota Medan dan sekitarnya memperlihatkan residual positif tinggi, sementara Kepulauan Nias menunjukkan residual negatif ekstrim. Selain itu, wilayah seperti Tapanuli Selatan dan Mandailing Natal juga tampak memiliki nilai residual yang cukup tinggi. Hal ini menandakan OLS tidak mampu menangkap heterogenitas spasial secara optimal pada studi kasus TB Sumut 2021. Sebaliknya, model GWR menampilkan distribusi residual yang lebih merata dengan intensitas kesalahan yang lebih rendah. Wilayah dengan residual ekstrim jumlahnya lebih sedikit dan tersebar lebih acak, misalnya di Mandailing Natal dan sebagian kecil Kabupaten Asahan, tanpa pola spasial yang mengelompok jelas seperti pada OLS.



Gambar 10. Visualisasi perbandingan residual standar pada model regresi OLS (kiri) dan GWR (kanan) studi kasus TB Sumut 2021

Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa GWR lebih mampu menangkap variasi spasial dalam hubungan antarvariabel dibandingkan OLS. Namun demikian, interpretasi koefisien lokal tetap memerlukan kehati-hatian, terutama karena adanya potensi bias deteksi. Misalnya, jumlah fasilitas kesehatan yang berasosiasi positif dengan kasus tuberkulosis di beberapa wilayah tidak selalu mencerminkan tingginya risiko penularan, melainkan dapat mengindikasikan kapasitas deteksi yang lebih baik. Oleh sebab itu, hasil GWR sebaiknya dilengkapi dengan analisis diagnostik tambahan seperti peta koefisien lokal, uji multikolinieritas lokal, serta evaluasi sensitivitas terhadap pilihan *bandwidth*. Dengan pendekatan ini, temuan penelitian tidak hanya lebih kuat secara metodologis, tetapi juga lebih relevan untuk mendukung perumusan kebijakan kesehatan berbasis wilayah (Fotheringham dkk, 2017; Oshan dkk, 2019; Wang dkk, 2019).

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan regresi spasial mampu memberikan pemahaman yang lebih baik terhadap distribusi kasus TB di Provinsi Sumatera Utara. Jumlah fasilitas kesehatan menjadi

variabel independen yang paling berpengaruh dalam menentukan jumlah kasus yang terdeteksi. Sementara kepadatan penduduk, jumlah sapi ternak, dan jumlah penduduk miskin menunjukkan korelasi yang relatif lebih lemah. Dalam pemodelan regresi spasial, model OLS hanya mampu memberikan gambaran global mengenai hubungan antara variabel-variabel penentu kasus TB, namun tidak dapat menangkap variasi spasial antar kabupaten/kota. Hal ini membuat OLS kurang sesuai digunakan pada fenomena kesehatan masyarakat yang dipengaruhi oleh faktor keruangan.

Sebaliknya, model GWR mampu menggambarkan heterogenitas spasial dengan lebih baik, yang ditunjukkan melalui variasi lokal pada hubungan antarvariabel yang berbeda antarwilayah. Karakteristik ini membuat GWR lebih efektif dalam menjelaskan pola distribusi kasus TB yang tidak seragam di seluruh provinsi. Temuan ini menyimpulkan bahwa GWR lebih unggul dibandingkan OLS dalam memodelkan regresi spasial pada studi kasus TB di Sumatera Utara, sekaligus memberikan implikasi bahwa strategi penanggulangan TB di Sumatera Utara perlu mempertimbangkan perbedaan kondisi lokal antar kabupaten/kota agar intervensi kebijakan yang dilakukan lebih tepat sasaran.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Pusat Statistik (BPS) yang telah menyediakan data-data statistik yang menjadi dasar penting dalam penelitian ini. Dukungan BPS melalui ketersediaan data resmi sangat membantu dalam proses analisis dan pemodelan, sehingga penelitian mengenai distribusi dan model regresi spasial kasus tuberkulosis di Provinsi Sumatera Utara Tahun 2021 dapat terlaksana dengan baik.

Daftar Pustaka

- Ahmed, A., Mekonnen, D., Shiferaw, A. M., Belayneh, F., & Yenit, M. K. (2018). Incidence and determinants of tuberculosis infection among adult patients with HIV attending HIV care in north-east Ethiopia: A retrospective cohort study. *BMJ Open*, 8(3), e016961. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-016961>
- Andini, N. L. E., & Oktora, S. I. (2022). Determinants of multidrug-resistant pulmonary tuberculosis in Indonesia: A spatial analysis perspective. *Jurnal Varian*, 6(1), 35–48. <https://doi.org/10.30812/varian.v6i1.1663>
- Anselin, L. (2022). Spatial econometrics. *Handbook of spatial analysis in the social sciences*, 101-122.
- Badan Pusat Statistik. (2018). *Provinsi Sumatera Utara dalam Angka 2017*. <https://sumut.bps.go.id/id/publication>
- Badan Pusat Statistik. (2019). *Provinsi Sumatera Utara dalam Angka 2018*. <https://sumut.bps.go.id/id/publication>
- Badan Pusat Statistik. (2020). *Provinsi Sumatera Utara dalam Angka 2019*. <https://sumut.bps.go.id/id/publication>
- Cattaneo, M. D., Jansson, M., & Newey, W. K. (2018). Inference in linear regression models with many covariates and heteroscedasticity. *Journal of the American Statistical Association*, 113(523), 1350-1361. <https://doi.org/10.1080/01621459.2017.1328360>
- Çelik, M., Döker, M. F., Kırlangıçoğlu, C., Ünsal, Ö. M. E. R., Gökçeoğlu, S., Ceylan, M. R., & Karabay, O. (2025). Comprehensive spatial investigation of tuberculosis dynamics and affecting factors in Şanlıurfa, Türkiye (2016–2023). *GeoHealth*, 9(7), e2024GH001235. <https://doi.org/10.1029/2024GH001234>
- Dancey, C. P., & Reidy, J. (2017). *Statistics Without Maths for Psychology* (7th ed.). Pearson Education.
- Dangisso, M. H., Datiko, D. G., & Lindtjørn, B. (2020). Identifying geographical heterogeneity of pulmonary tuberculosis in southern Ethiopia: A method to identify clustering for targeted interventions. *Global Health Action*, 13(1), 1785737. <https://doi.org/10.1080/16549716.2020.1785737>
- Devi, K. R., Lee, L. J., Yan, L. T., Syafinaz, A. N., Rosnah, I., & Chin, V. K. (2021). Occupational exposure and challenges in tackling *M. bovis* at human–animal interface: a narrative review. *International archives of occupational and environmental health*, 94(6), 1147-1171.

- <https://doi.org/10.1007/s00420-021-01677-z>
- Fotheringham, A. S., Yang, W., & Kang, W. (2017). Multiscale geographically weighted regression (MGWR). *Annals of the American Association of Geographers*, 107(6), 1247–1265. <https://doi.org/10.1080/24694452.2017.1352480>
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2020). *Basic econometrics* (6th ed.). McGraw-Hill Education.
- Kurniawati, D., Hastono, S. P., Safika, I., & Wahyuningsih, W. (2025). Geographically Weighted Regression Model of Stunting Determinants in Indonesia. *Journal of Maternal and Child Health*, 10(3), 140-152.
- Li, Q., Liu, M., Zhang, Y., Wu, S., Yang, Y., Liu, Y., Amsalu, E., Tao, L., Liu, X., & Zhang, F. (2019). The spatio-temporal analysis of the incidence of tuberculosis and the associated factors in mainland China, 2009–2015. *Infection, Genetics and Evolution*, 75, 103949. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2019.103949>
- Mahato, R. K., Htike, K. M., Koro, A. B., Yadav, R. K., Sharma, V., Kafle, A., & Ojha, S. C. (2025). Spatial autocorrelation with environmental factors related to tuberculosis prevalence in Nepal, 2020–2023. *Infectious Diseases of Poverty*, 14(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s40249-025-01283-y>
- Mallongi, A., & Dwinata, I. (2020). Risk factor model for pulmonary tuberculosis occurrence in Makassar using spatial approach. *Enfermería Clínica*, 30(Suppl. 2), 383–387. <https://doi.org/10.1016/j.enfcli.2019.10.094>
- Naidoo, K., & Perumal, R. (2023). Advances in tuberculosis control during the past decade. *The Lancet Respiratory Medicine*, 11(4), 311-313.
- Nyamu, W. M. (2020). *Investigating the Determinant of Active Tuberculosis (Tb) Epidemic Across Eastern Africa Countries* (Doctoral dissertation, University of Nairobi).
- Octavianty, T., Toharudin, T., & Jaya, I. M. (2017). Geographically weighted Poisson regression semiparametric on modeling of the number of tuberculosis cases (Case study: Bandung city). In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1827, No. 1, p. 020022). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/1.4979434>
- Oshan, T. M., Li, Z., Kang, W., Wolf, L. J., & Fotheringham, A. S. (2019). mgwr: A Python implementation of multiscale geographically weighted regression for investigating process spatial heterogeneity and scale. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(6), 269. <https://doi.org/10.3390/ijgi8060269>
- Putra, I. G. N. E., Rahmaniati, M., Eryando, T., & Sipahutar, T. (2022). Modeling the prevalence of tuberculosis in Java, Indonesia: An ecological study using geographically weighted regression. *Journal of Population and Social Studies*, 30, 741–763. <https://doi.org/10.25133/JPSSv302022.045>
- Riznawati, A., Eryando, T., & Prabawa, A. (2023). Model Spasial Faktor Risiko Tuberkulosis di Provinsi Jawa Barat Tahun 2021: Pemanfaatan Data Rutin untuk Pengambilan Keputusan. *Jurnal Ilmiah Kesehatan Masyarakat: Media Komunikasi Komunitas Kesehatan Masyarakat*, 16(1). <https://doi.org/10.52022/jikm.v16i1.640>
- Rood, E., Khan, A. H., Modak, P. K., Mergenthaler, C., Van Gorp, M., Blok, L., & Bakker, M. (2019). A spatial analysis framework to monitor and accelerate progress towards SDG 3 to end TB in Bangladesh. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(1), 14. <https://doi.org/10.3390/ijgi8010014>
- Shaweno, D., Karmakar, M., Alene, K. A., Ragonnet, R., Clements, A. C., Trauer, J. M., ... & McBryde, E. S. (2018). Methods used in the spatial analysis of tuberculosis epidemiology: a systematic review. *BMC medicine*, 16(1), 193. <https://doi.org/10.1186/s12916-018-1178-4>
- Tadesse, S., Enqueselassie, F., & Hagos, S. (2018). Spatial and space-time clustering of tuberculosis in Gurage Zone, Southern Ethiopia. *PLOS ONE*, 13(6), e0198353. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198353>
- Tosepu, R., Sani, A., Effendy, D. S., & Ahmad, L. O. A. I. (2024). The association between climate variables and tuberculosis in Kolaka District, Southeast Sulawesi Province, Indonesia, 2013–2020: A Bayesian autoregressive model. *F1000Research*, 12, 1507. <https://doi.org/10.12688/f1000research.140942.1>
- Uplekar, M., Atre, S., Wells, W. A., Weil, D., Lopez, R., Migliori, G. B., & Raviglione, M. (2016). Mandatory tuberculosis case notification in high tuberculosis-incidence countries: policy and practice. *European Respiratory Journal*, 48(6), 1571-1581. <https://doi.org/10.1183/13993003.00956-2016>

- Wang, Q., Guo, J., & He, J. (2019). Spatiotemporal analysis of tuberculosis in mainland China using Geographically Weighted Regression. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(22), 4360. <https://doi.org/10.3390/ijerph16224360>
- Wang, Q., Guo, L., Wang, J., Zhang, L., Zhu, W., Yuan, Y., & Li, J. (2019). Spatial distribution of tuberculosis and its socioeconomic influencing factors in mainland China, 2013–2016. *Tropical Medicine & International Health*, 24(9), 1104–1113. <https://doi.org/10.1111/tmi.13280>
- Wang, Q., Guo, L., Zhang, L., Zhu, W., Yuan, Y., & Li, J. (2019). Spatial distribution of tuberculosis and its socioeconomic influencing factors in mainland China, 2013–2016. *Tropical Medicine & International Health*, 24(9), 1104–1113. <https://doi.org/10.1111/tmi.13289>
- Wei, W., Yuan-Yuan, J., Ci, Y., Ahan, A., & Ming-Qin, C. (2016). Local spatial variations analysis of smear-positive tuberculosis in Xinjiang using geographically weighted regression model. *BMC Public Health*, 16(1), 1058. <https://doi.org/10.1186/s12889-016-3723-4>
- Wei, W., Yuan-Yuan, J., Ci, Y., Ahan, A., & Ming-Qin, C. (2016). Local spatial variations analysis of smear-positive tuberculosis in Xinjiang using geographically weighted regression model. *BMC Public Health*, 16, 1058. <https://doi.org/10.1186/s12889-016-3732-9>
- World Health Organization. (2020). *Global tuberculosis report 2020*. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240013131>
- World Health Organization. (2021). *Global tuberculosis report 2021*. World Health Organization. <https://www.who.int/teams/global-tuberculosis-programme/tb-reports>
- Zhang, Y., dkk (2019). Spatial distribution of tuberculosis and its association with meteorological factors in mainland China. *BMC Infectious Diseases*, 19, 4008-1. <https://doi.org/10.1186/s12879-019-4008-1>