



Pemodelan *Mixed Geographically Weighted Regression* Menggunakan Fungsi Pembobot *Adaptive Gaussian Kernel*: Studi Kasus Kejadian TB Paru Di Jawa Timur

Brenda Rahmahdania^{1*}, Atiek Iriany²

^{1*}Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

brenda@student.ub.ac.id

²Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

atiek.iriany@gmail.com

ABSTRAK

Model Geographically Weighted Regression (MGWR) ialah model regresi linier dengan parameter lokal untuk setiap tempat dengan kondisi yang bervariasi. Model Geographically Weighted Regression (MGWR) dirancang pada kondisi dengan faktor global dan lokal. Jawa Timur masih berjuang melawan tuberkulosis paru. Variabel lingkungan, sosial, dan ekonomi dapat menyebarkan penyakit ini. Penelitian ini akan mengidentifikasi model Geographically Weighted Regression maupun variabel memengaruhi insiden TB paru di Jawa Timur pada tahun 2023. Model MGWR mengungguli model GWR dalam memprediksi insiden TB paru di Jawa Timur pada tahun 2023, berdasarkan nilai R^2 yang disesuaikan (0,964) dan kriteria AIC (573,138). Berdasarkan pemodelan MGWR, variabel global tidak memengaruhi insiden TB paru di Jawa Timur, tetapi variabel lokal seperti rerata konsumsi rokok mingguan, kasus AIDS, dan tenaga medis berpengaruh secara signifikan. Insiden TB paru di Jawa Timur pada tahun 2023 sebagian dipengaruhi oleh faktor global, termasuk kepadatan penduduk dan kebersihan rumah.

Kata Kunci: GWR; MGWR; TB Paru; Variabel Global; Variabel Lokal

PENDAHULUAN

Para ahli statistika menggunakan analisis regresi untuk memahami hubungan variabel. Dalam studi ini, dimodelkan hubungan diantara variabel prediktor maupun respons. Penempatan grafik dalam data tidak dijelaskan oleh model regresi linier, yang menyiratkan hubungan homogen antar variabel. Ketika data dikumpulkan dari lokasi geografis yang berbeda, kondisi unik di setiap wilayah dapat mempengaruhi hubungan antar variabel yang dikenal sebagai heterogenitas spasial. Diperlukan pendekatan analisis

yang lebih adaptif untuk mengatasi keterbatasan ini, yaitu *Geographically Weighted Regression* (GWR).

Model regresi berganda dengan implikasi geografis dikembangkan menjadi model Geographically Weighted Regression (GWR). Nilai parameter regresi bervariasi tiap lokasi pengamatan karena perhitungan parameter model GWR. Hal ini berkaitan dengan pembobotan lokasi pengamatan. Model GWR menghitung parameter model secara lokal untuk setiap titik data. Pendugaan parameter GWR dapat dilakukan dengan metode *Weighted Least Square* (WLS).

Estimasi parameter GWR memakai *Weighted Least Squares* (WLS) meminimalkan jumlah galat kuadrat seperti estimasi parameter regresi menggunakan OLS. Estimasi parameter GWR memerlukan matriks pembobotan untuk setiap lokasi pengamatan. Memilih pembobotan spasial yang tepat sangat penting. Matriks pembobotan dihasilkan menggunakan algoritma pembobotan yang dipengaruhi oleh bandwidth. Cross-validation (CV) dapat menghitung bandwidth, yang mengukur jarak antara fungsi pembobotan untuk menilai bagaimana satu tempat memengaruhi tempat lain. Matriks pembobotan GWR mengestimasi parameter di setiap lokasi pengamatan (Chasco dkk., 2007). Model GWR menggunakan pembobotan kernel adaptif. Radius analisis disesuaikan secara dinamis berdasarkan kepadatan data melalui fungsi pembobotan kernel adaptif. Fungsi pembobotan kernel adaptif akan menghasilkan model yang lebih akurat dan representatif, terutama untuk data geografis.

Variabel memiliki pengaruh yang bervariasi di setiap lokasi. Variabel mungkin berpengaruh yang konstan atau global di seluruh lokasi, sementara yang lain berpengaruh lokal atau berbeda di setiap lokasi. Keterbatasan variasi pengaruh variabel mendorong munculnya model *Geographically Weighted Regression* (MGWR). Model MGWR menggunakan model regresi tradisional maupun GWR untuk memperhitungkan atribut global dan lokal di setiap titik observasi.

Tuberkulosis (TB), dari *Mycobacterium tuberculosis* yaitu masalah kesehatan masyarakat yang serius. Pencegahan maupun terapi tersedia, namun penyakit TB paru di Indonesia masih menyebabkan morbiditas dan kematian nomor dua di dunia, khususnya Jawa Timur, masih berjuang untuk mengelola TB. Pemahaman mendalam tentang pola penyebaran dan faktor-faktor yang mempengaruhinya menjadi sangat krusial.

Menurut data *World Health Organization* (WHO), 10,8 juta orang terinfeksi TB setiap tahunnya dan menyebabkan ribuan kematian. Beberapa faktor yang meningkatkan risiko terkena TB paru antara lain kurangnya akses terhadap perawatan kesehatan, Kondisi tempat tinggal, gaya hidup, dan riwayat medis yang tidak sehat, seperti kondisi lainnya. Indonesia menempati peringkat kedua dalam kasus TB paru global setelah India (WHO, 2022). Jawa Timur memiliki kasus TB paru terbanyak kedua di Indonesia, dengan 78.334 kasus terkonfirmasi, menurut TB Indonesia (2022). Dari tahun 2022 hingga 2023, Jawa Timur memiliki 81.960 kasus TB terkonfirmasi, meningkat 4,6%. Pencegahan dan penanggulangan kasus TB di Jawa Timur masih memerlukan peningkatan. Program Zero TB merupakan program pemerintah untuk mewujudkan Indonesia bebas TB melalui tiga elemen, yaitu penemuan kasus TB secara aktif, pengobatan TB yang efektif, dan Pencegahan TB. Adanya perbedaan kondisi sosial dan budaya di tiap wilayah menyebabkan terdapatnya heterogenitas spasial. Sebuah studi yang memperhitungkan variabilitas geografis yang disebabkan oleh setiap tempat menghasilkan parameter dan interpretasi yang berbeda secara regional. Oleh karena itu, analisis *Geographically Weighted Regression* (MGWR) guna mengidentifikasi karakteristik memengaruhi kasus TB tiap kota/kabupaten di Jawa Timur yang meningkatkan pencegahan dan pengobatan TB.

Pada penelitian sebelumnya, dilakukan pemodelan kasus TB paru di Jawa Barat dengan GWR. Penelitian tersebut memilih fungsi pembobot *Adaptive Gaussian Kernel* sebagai pembobot yang optimum. Pada penelitian lain, penelitian tentang pemodelan faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah kasus penyakit TB di Jawa Timur. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan metode *Geographically Weighted Poisson Regression* (GWPR) dan *Mixed Geographically Weighted Poisson Regression* (MGWPR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa variabel yang berpengaruh signifikan diantaranya adalah jumlah kasus AIDS, jumlah tenaga medis, dan jumlah puskesmas dengan metode MGWPR.

Berdasarkan uraian latar belakang, penelitian ini difokuskan pada tiga pertanyaan utama, yaitu bagaimana memodelkan kejadian TB Paru di Provinsi Jawa Timur menggunakan *Mixed Geographically Weighted Regression* (MGWR), model mana yang lebih tepat antara *Geographically Weighted Regression* (GWR) dan MGWR dalam memetakan kasus TB Paru, serta variabel apa saja yang berpengaruh signifikan terhadap kejadian TB Paru di wilayah tersebut. Sejalan dengan rumusan masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membangun model MGWR pada data TB Paru di Provinsi Jawa Timur, melakukan perbandingan performa antara model GWR dan MGWR, serta mengidentifikasi variabel prediktor yang secara signifikan memengaruhi tingginya kasus TB Paru. Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat berupa diperolehnya model MGWR yang tepat, model terbaik dalam pemodelan kasus TB Paru, serta informasi mengenai variabel-variabel signifikan yang dapat menjadi dasar pengambilan keputusan dalam upaya penanggulangan TB Paru di Jawa Timur. Adapun penelitian ini dibatasi pada pendugaan parameter menggunakan metode *Weighted Least Square* (WLS) serta penentuan *bandwidth optimum* melalui pendekatan *Cross Validation* (CV).

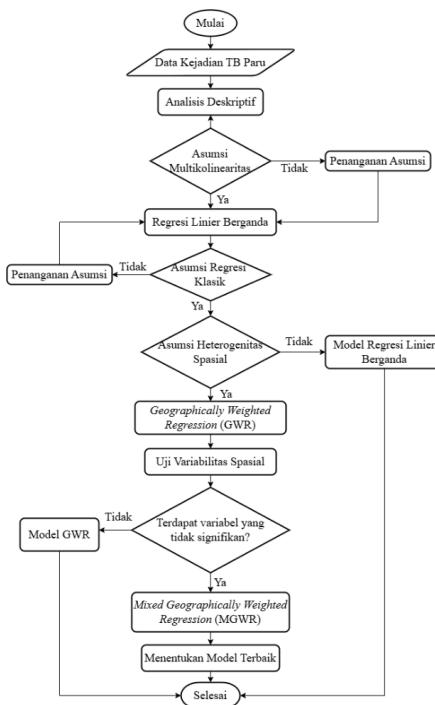
METODE

Analisis ini menggunakan data sekunder dari publikasi Badan Pusat Statistik (BPS) Februari 2024. Penelitian ini mengamati seluruh 29 kabupaten dan 9 kota di Provinsi Jawa Timur. Statistiknya terdapat pada tabel 1 di bawah ini dengan mencantumkan variabel penelitian.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan	Satuan
Y	Kejadian TB Paru	Jiwa
X_1	Kepadatan Penduduk	Per KM^2
X_2	Persentase Rumah Tangga yang Memiliki Akses Sanitasi Layak	%
X_3	Rata-Rata Jumlah Konsumsi Rokok per Minggu	Buah
X_4	Jumlah Kasus AIDS	Jiwa
X_5	Jumlah Tenaga Medis	Jiwa
X_6	Persentase Rumah Tangga yang Memiliki Akses Air Minum	%

Analisis data menggunakan analisis MGWR dengan bantuan *software RStudio* dengan tahapan:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Statistika Deskriptif

Dalam penelitian ini, dilakukan analisis terhadap kejadian TB Paru di Jawa Timur tahun 2023. Diketahui bahwa rata-rata kejadian TB Paru di Jawa Timur sebanyak 2.157 Kejadian. Jumlah kasus TB Paru tertinggi yaitu sebanyak 10.529 kejadian yang terjadi di Kota Surabaya dan jumlah kejadian terendah yaitu sebanyak 258 kejadian di Kabupaten Probolinggo. Rata-rata angka kepadatan penduduk di Jawa Timur berada di angka 1.937,9 dengan angka kepadatan penduduk paling tinggi berada di Kota Surabaya dengan angka kepadatan penduduk sebesar 8.667 dan terendah berada di Kabupaten Pacitan dengan angka kepadatan penduduk sebesar 410.

Rata-rata presentase rumah tangga dengan sanitasi layak sebesar 84,59%. Persentase terbesar rumah tangga yang memiliki sanitasi layak berada di Kota Madiun dimana 98,18% rumah tangga bersanitasi yang layak. Persentase terendah berada di Kabupaten Bangkalan dengan persentase sebesar 50,3%. Rata-rata jumlah konsumsi rokok per minggu di Jawa Timur adalah sebesar 73 rokok per minggu. Rata-rata konsumsi rokok terbanyak berada di Kabupaten Bangkalan dengan rata-rata konsumsi 114 rokok per minggu sedangkan rata-rata konsumsi rokok terendah berada di Kota Probolinggi dengan rata-rata konsumsi rokok sebanyak 49 rokok per minggu.

Rerata kasus AIDS di Jawa Timur hingga angka 39 kasus dengan jumlah kasus terbanyak berada di Kabupaten Sidoarjo sebanyak 273 kasus. Sedangkan Kabupaten Pamekasan tidak terdapat kasus AIDS. Rata-rata setiap kabupaten/kota di Jawa Timur memiliki 687 tenaga medis. Namun, terjadi disparitas yang signifikan antar wilayah. Kota Surabaya mencatatkan jumlah tenaga medis tertinggi dengan 6.970 orang, jauh di atas rata-rata. Di sisi lain, Kabupaten Pacitan memiliki jumlah terendah dengan hanya 160 tenaga medis, mengindikasikan ketidakmerataan akses terhadap layanan kesehatan. Rata-rata, 95,36% rumah tangga di kabupaten/kota Provinsi Jawa Timur sudah memiliki akses terhadap air minum. Beberapa kota, seperti Kota Probolinggo dan Kota Pasuruan, bahkan

telah mencapai cakupan 100%. Namun, masih ada wilayah dengan akses yang terbatas, seperti Kabupaten Lamongan, yang memiliki persentase terendah sebesar 78,56%.

Pemodelan Regresi Linier Berganda

Analisis regresi OLS digunakan sebagai langkah awal untuk memodelkan faktor-faktor yang memengaruhi jumlah kasus TB Paru di Provinsi Jawa Timur. Hasil pendugaan parameter menunjukkan adanya variasi pengaruh antarvariabel. Kepadatan penduduk, persentase rumah tangga dengan akses sanitasi layak, serta persentase rumah tangga dengan akses air minum layak memiliki koefisien negatif, yang mengindikasikan bahwa peningkatan nilai pada ketiga variabel tersebut cenderung menurunkan jumlah kasus TB Paru. Sebaliknya, variabel rata-rata konsumsi rokok per minggu, jumlah kasus AIDS, dan jumlah tenaga medis menunjukkan koefisien positif, sehingga peningkatan pada variabel tersebut berkaitan dengan meningkatnya jumlah kasus TB Paru. Setelah parameter diduga, dilakukan pengujian signifikansi secara simultan maupun parsial. Uji simultan menunjukkan bahwa secara keseluruhan variabel prediktor memiliki pengaruh signifikan terhadap respons. Namun, pengujian parsial memperlihatkan bahwa tidak semua variabel berpengaruh signifikan secara individual; hanya variabel konsumsi rokok, kasus AIDS, dan jumlah tenaga medis yang terbukti berperan dalam menjelaskan variasi kasus TB Paru.

Penjelasan ilmiah dari hasil tersebut dijabarkan lebih lanjut, misalnya keterkaitan antara AIDS dan TB yang saling memperburuk kondisi sistem imun sehingga meningkatkan risiko infeksi. Jumlah tenaga medis juga berperan penting dalam proses diagnosis, pemantauan pengobatan, edukasi, dan deteksi dini, sehingga peningkatan jumlahnya dapat beriringan dengan meningkatnya penemuan kasus. Di sisi lain, literatur menunjukkan bahwa kepadatan penduduk sering dikaitkan dengan tingginya risiko transmisi TB, meskipun dalam hasil awal model OLS variabel ini tidak signifikan secara statistik. Nilai pendugaan parameter regresi disajikan dalam tabel sebagai berikut.

Tabel 2. Estimasi Parameter Regresi Linier Berganda

Parameter	Nilai Duga	P-value
β_0	3.425,345	0,338962
β_1	-0,16927	0,077153
β_2	0,002565	0,999842
β_3	11,02933	0,300265
β_4	9,987192	0,001684
β_5	1,423781	2,31E-10
β_6	-32,389	0,285752

Pengujian asumsi klasik dilakukan untuk memastikan kelayakan model OLS. Residual terbukti berdistribusi normal, namun uji Durbin-Watson mendeteksi adanya autokorelasi sehingga dilakukan perbaikan menggunakan metode Cochrane-Orcutt. Setelah dilakukan penanganan terhadap asumsi autokorelasi, hasil uji simultan menunjukkan bahwa variabel-variabel prediktor secara kolektif berpengaruh signifikan terhadap jumlah kasus TB paru di Jawa Timur.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Uji Parsial

Variabel	p-value	Keputusan
X_1	0,79898	Terima H_0
X_2	0,03143	Tolak H_0
X_3	0,92918	Terima H_0
X_4	0,21154	Terima H_0
X_5	0,00117	Tolak H_0
X_6	1,29E-09	Tolak H_0

Hasil di atas menunjukkan bahwa variabel prediktor X_2 , X_5 , dan X_6 secara individu berpengaruh signifikan terhadap total kasus TB Paru di Jawa Timur dan variabel X_1 , X_3 , dan X_4 tidak berpengaruh signifikan. Uji parsial menunjukkan bahwa secara individu, hanya variabel kasus kejadian AIDS dan jumlah tenaga kerja yang berpengaruh signifikan. Kondisi ini dipahami sebagai konsekuensi dari heterogenitas spasial dalam data, mengingat data kasus TB Paru memiliki karakteristik geografis yang sangat mungkin bervariasi antarwilayah.

Karakter spasial pada data mendorong dilakukannya pengujian lanjutan menggunakan pendekatan GWR. Uji heterogenitas spasial memperlihatkan bahwa terdapat variasi hubungan antarvariabel di berbagai lokasi, sehingga model regresi global tidak mampu menggambarkan fenomena secara tepat. Uji multikolinearitas lokal menunjukkan bahwa nilai VIF di seluruh lokasi masih berada pada batas aman sehingga model spasial dapat dievaluasi dengan baik. Temuan ini memberikan landasan bahwa model GWR maupun MGWR diperlukan untuk menangkap variasi spasial dalam hubungan antara faktor-faktor prediktor dan kasus TB Paru di Jawa Timur, sekaligus memperbaiki kelemahan model regresi klasik dalam menangani nonstasioneritas spasial.

Pemodelan GWR

Berdasarkan pengujian asumsi bahwa telah memenuhi non-Multikolinearitas dan diketahui pula keragaman faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kejadian TB Paru di Jawa Timur menunjukkan keberagaman yang memiliki nilai yang bervariasi antar kabupaten/kota di Jawa Timur. Dengan demikian, dilakukan pemodelan *Geographically Weighted Regression* (GWR). Pembentukan matriks pembobot spasial (W_{ij}) adalah langkah awal dalam pemodelan GWR. Matriks ini dibuat dengan mensubtitusi nilai bandwidth optimum dan jarak *Euclidean* antar lokasi pengamatan, yang dapat dilihat pada Lampiran 4. Dengan menggunakan kriteria CV, penelitian ini memperoleh bandwidth optimum sebesar $h = 0.2281893$ untuk pembobot *adaptive gaussian kernel*, yang menghasilkan nilai skor CV minimum 6.703412. Nilai bandwidth ini kemudian digunakan untuk membangun matriks pembobot bagi setiap kota/kabupaten, yang selanjutnya akan dipakai dalam proses estimasi parameter model GWR.

Estimasi parameter dalam model GWR dilakukan menggunakan metode *Weighted Least Square* (WLS) dengan fungsi pembobot *adaptive gaussian kernel*. Hasil estimasi parameter dirangkum sebagai berikut:

Tabel 4. Estimasi Parameter Model GWR

Variabel	Min	Max
X_1	-4.728,6	8.482,873
X_2	-0,20447	-0,13225
X_3	-12,3954	42,33034
X_4	-7,73784	34,98058
X_5	2,62132	13,97113
X_6	1,27897	1,77584

Tabel ini menyajikan rentang estimasi koefisien regresi untuk setiap variabel prediktor. Nilai minimum dan maksimum menunjukkan kisaran pengaruh variabel tersebut di seluruh wilayah penelitian. Misalnya, variabel X_1 berpengaruh negatif di seluruh wilayah, sementara variabel X_2 menunjukkan pengaruh yang sangat bervariasi, dari negatif di satu lokasi hingga positif yang kuat di lokasi lain. Sementara berdasarkan nilai statistik uji t diketahui bahwa variabel jumlah kasus AIDS dan jumlah tenaga medis berpengaruh

signifikan sedangkan variabel angka kepadatan penduduk, persentase rumah tangga yang memiliki akses terhadap sanitasi layak, rata-rata konsumsi rokok per minggu, dan persentase rumah tangga yang memiliki akses terhadap air minum layak tidak berpengaruh secara signifikan.

Untuk menentukan variabel prediktor yang secara signifikan memengaruhi kejadian TB paru di Jawa Timur, dilakukan pengujian parameter model GWR. Hipotesis yang digunakan untuk pengujian ini adalah:

$$H_0: \beta_k(u_i, v_i) = 0, i = 1, 2, \dots, 38; k = 0, 1, \dots, 6 \text{ (parameter tidak signifikan)}$$

$$H_1: \beta_k(u_i, v_i) \neq 0 \text{ (parameter signifikan)}$$

Berdasarkan hasil analisis, dengan tingkat signifikansi $\alpha = 0.05$ dan nilai $t_{0.05;31} = 1,696$ maka keputusan tolak H_0 apabila p-value < α atau statistik uji t > dari $t_{0.05;31}(1,696)$. Hasil ini menunjukkan bahwa setidaknya terdapat satu variabel prediktor yang berpengaruh signifikan terhadap variabel respons. Keseluruhan estimasi parameter model dengan pembobot *Adaptive Gaussian Kernel* di setiap kabupaten/kota dapat dilihat pada lampiran 7 dan pemodelan untuk kota Surabaya yang terbentuk adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Y_{\text{Kota Surabaya}} = & 5.363,038 - 0,1322X_1 + 6,2295X_2 + 9,3535X_3 + 10,0526X_4 \\ & + 1,2867X_5 - 56,0032X_6 \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai statistik uji t pada Lampiran 8, diketahui bahwa variabel jumlah kasus AIDS dan jumlah tenaga medis berpengaruh signifikan sedangkan variabel angka kepadatan penduduk, persentase rumah tangga yang memiliki akses terhadap sanitasi layak, rata-rata konsumsi rokok per minggu, dan persentase rumah tangga yang memiliki akses terhadap air minum layak tidak berpengaruh secara signifikan. Koefisien untuk jumlah kasus AIDS dan jumlah tenaga medis menunjukkan pengaruh positif. Ini mengindikasikan bahwa peningkatan pada kedua variabel tersebut, yaitu semakin tingginya jumlah kasus AIDS dan ketersediaan tenaga medis, berhubungan dengan meningkatnya angka kejadian TB paru di Jawa Timur.

Selanjutnya pengujian *Goodness of Fit* atau pengujian kesesuaian model dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara model regresi OLS dengan model GWR. Pengujian ini juga dapat mengetahui apakah model GWR dapat menjelaskan lebih baik dibandingkan dengan model regresi OLS. Hipotesis uji kesesuaian model adalah sebagai berikut.

$$H_0: \beta_1(u_i, v_i) = \beta_k \text{ dimana } k = 1, 2, \dots, 6; i = 1, 2, \dots, 38 \text{ (tidak terdapat perbedaan signifikan antara model regresi OLS dengan model GWR)}$$

H_1 : paling sedikit terdapat satu k dimana $\beta_k(u_i, v_i) \neq 0$ (terdapat perbedaan signifikan antara model regresi OLS dengan model GWR). Pengujian kesesuaian model GWR dengan pembobot *Adaptive Gaussian Kernel* diperoleh $p\text{-value} = 0.1032 > \alpha = 0.05$ dan didapatkan keputusan terima H_0 . Sehingga disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara model regresi OLS dan model GWR.

Variabilitas Spasial

Hasil pengujian ini juga untuk menentukan mana saja variabel yang akan diperlakukan sebagai variabel lokal dan variabel global.

Tabel 5. Variabilitas Spasial

Variabel	P-value	Keputusan
X_1	0,992825	Terima H_0
X_2	0,085329	Terima H_0
X_3	0,004837	Tolak H_0
X_4	0,004504	Tolak H_0
X_5	0,005116	Tolak H_0

Variabel	P-value	Keputusan
X ₆	0,10209	Terima H ₀

Uji variabilitas spasial dilakukan untuk mengidentifikasi variabel mana yang memiliki perbedaan pengaruh antarwilayah dan mana yang bersifat konsisten di seluruh lokasi. Pengujian ini penting karena hasilnya menentukan apakah suatu variabel harus dimodelkan sebagai variabel lokal atau cukup dijelaskan secara global dalam pendekatan MGWR. Berdasarkan pengujian variabilitas spasial, didapatkan informasi bahwa angka kepadatan penduduk, persentase rumah tangga yang memiliki akses terhadap sanitasi layak, dan persentase rumah tangga yang memiliki akses terhadap air minum layak diasumsikan sebagai variabel global. Diperoleh gambaran bahwa beberapa variabel menunjukkan ketidakstasioneran spasial, sementara lainnya memiliki pengaruh yang seragam di seluruh wilayah pengamatan. Variabel kepadatan penduduk, persentase rumah tangga dengan akses sanitasi layak, serta persentase rumah tangga dengan akses air minum layak memiliki nilai p yang tinggi sehingga tidak menunjukkan variasi pengaruh antarwilayah. Ketiga variabel tersebut dapat diperlakukan sebagai variabel global karena kontribusinya terhadap model relatif stabil di seluruh kabupaten/kota di Jawa Timur.

Variabel rata-rata konsumsi rokok perminggu, jumlah kasus AIDS, dan jumlah tenaga medis diasumsikan sebagai variabel lokal. Variabilitas ini mengindikasikan adanya pengaruh lingkungan, perilaku masyarakat, serta kondisi pelayanan kesehatan yang berbeda antarwilayah, sehingga model yang memungkinkan koefisien bervariasi secara spasial menjadi lebih tepat untuk menggambarkan gejala yang muncul dalam data.

Pemodelan MGWR

Pendugaan Parameter Model MGWR ini difokuskan pada pendugaan parameter global dan parameter lokal. Dalam pemodelan ini, variabel X₁, X₂, dan X₆ diidentifikasi sebagai parameter global. Hasil perhitungan estimasi parameter adalah sebagai berikut:

Tabel 6. Estimasi Parameter Model MGWR

Variabel	Nilai $\widehat{\beta}_g$
X ₁	0,232585
X ₂	6,364015
X ₆	12,08387

Pengujian parameter dalam model MGWR dilakukan melalui beberapa tahap, dimulai dari evaluasi simultan terhadap parameter global. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai $F_{hitung} = 3,085$, lebih besar dibandingkan dengan nilai $F_{tabel}(0,05; 5; 32) = 2,51$. Kondisi ini menghasilkan keputusan menolak H_0 , yang berarti variabel-variabel yang diperlakukan sebagai parameter global terbukti memberikan pengaruh secara keseluruhan terhadap angka kejadian TB Paru di Jawa Timur. Selain parameter global, pengujian simultan juga dilakukan terhadap parameter lokal. Nilai F_{hitung} yang diperoleh sebesar 23,05194, kembali melebihi nilai F_{tabel} pada taraf signifikansi 5 persen, sehingga hipotesis nol kembali ditolak. Hasil ini memperlihatkan bahwa parameter lokal dalam model MGWR secara kolektif memiliki pengaruh signifikan terhadap jumlah kasus TB Paru, menegaskan bahwa variasi spasial pada variabel-variabel tersebut penting untuk diperhitungkan dalam pemodelan. Setelah uji simultan, pengujian dilanjutkan secara parsial terhadap parameter global untuk mengidentifikasi variabel mana saja yang memberikan kontribusi signifikan secara individual. Hasil lengkap pengujian parsial tersebut disajikan pada Tabel 7, yang memberikan rincian mengenai nilai koefisien, tingkat signifikansi, serta interpretasi masing-masing variabel dalam konteks model MGWR. Evaluasi parsial ini menjadi dasar untuk menentukan variabel global mana yang relevan secara statistik dalam memengaruhi kejadian TB Paru di Provinsi Jawa Timur.

Tabel 7. Uji Parsial Parameter Global

Variabel	P-value	Keputusan
Studia: Journal of Humanities and Education Studies Vol 1 No. 1 – Agustus 2025		

X_1	0,000001	Tolak H_0
X_2	0,247076	Terima H_0
X_6	0,113507	Terima H_0

Hasil pengujian parsial terhadap parameter global dalam model MGWR menunjukkan bahwa variabel kepadatan penduduk memiliki pengaruh yang signifikan secara global terhadap kejadian TB Paru di Jawa Timur. Temuan ini mengindikasikan bahwa kepadatan penduduk memberikan kontribusi yang konsisten di seluruh wilayah, sehingga perubahan pada variabel tersebut cenderung memengaruhi angka kasus TB Paru secara merata. Berbeda dengan itu, variabel jumlah tenaga medis dan persentase rumah tangga dengan sanitasi layak tidak menunjukkan signifikansi pada tingkat global. Kedua variabel ini tidak memiliki pengaruh yang seragam di seluruh wilayah sehingga tidak dapat dianggap sebagai faktor global dalam menjelaskan variasi kejadian TB Paru.

Pengujian parsial terhadap parameter lokal dilakukan untuk mengidentifikasi wilayah yang menunjukkan pengaruh signifikan dari variabel-variabel lokal dalam model. Keputusan penolakan hipotesis nol ditetapkan apabila nilai p lebih kecil daripada tingkat signifikansi atau ketika nilai t_{hitung} melebihi nilai kritis $t_{(0,05;31)} = 1,696$. Hasil pengujian tersebut memberikan daftar kabupaten/kota di mana variabel lokal terbukti berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah kasus TB Paru. Rincian wilayah dengan signifikansi lokal tersebut disajikan pada tabel berikut, yang menggambarkan variasi spasial dari pengaruh variabel-variabel lokal dalam model MGWR.

Tabel 8. Uji Parsial Parameter Lokal

Variabel	Kota/Kabupaten
X_3	Pacitan, Ponorogo, Trenggalek, Tulungagung, Malang, Lumajang, Jember, Banyuwangi, Bondowoso, Probolinggo, Pasuruan, Sidoarjo, Mojokerto, Jombang, Magetan, Ngawi, Tuban, Kota Kediri, Kota Blitar, Kota Malang, Kota Probolinggo, Kota Pasuruan, Kota Madiun, Kota Batu.
X_4	Ponorogo, Malang, Lumajang, Jember, Banyuwangi, Probolinggo, Pasuruan, Sidoarjo, Mojokerto, Magetan, Ngawi, Bojonegoro, Tuban, Lamongan, Bangkalan, Kota Malang, Kota Probolinggo, Kota Pasuruan, Kota Mojokerto, Kota Madiun, Kota Surabaya, Kota Batu.
X_5	Ponorogo, Trenggalek, Tulungagung, Blitar, Kediri, Malang, Lumajang, Banyuwangi, Bondowoso, Situbondo, Pasuruan, Sidoarjo, Mojokerto, Jombang, Magetan, Ngawi, Bojonegoro, Lamongan, Gresik, Bangkalan, Sumenep, Kota Kediri, Kota Blitar, Kota Malang, Kota Pasuruan, Kota Mojokerto, Kota Madiun, Kota Surabaya, Kota Batu.

Pemodelan Model Terbaik

Pemilihan model terbaik dilakukan untuk menentukan pendekatan yang paling efektif dalam memodelkan kejadian TB Paru di Jawa Timur, khususnya dengan membandingkan kinerja model Geographically Weighted Regression (GWR) dan Mixed Geographically Weighted Regression (MGWR). Tujuan dari pemilihan model terbaik untuk menentukan model mana, antara *Geographically Weighted Regression* (GWR) dan *Mixed Geographically Weighted Regression* (MGWR) yang paling efektif dalam memodelkan kasus TB pari di Jawa Timur pada tahun 2023.

Tabel 9. Pemilihan Model Terbaik

Model	AIC	$R^2_{adjusted}$
GWR	597,6932	0,9195
MGWR	573,1386	0,9648

Model MGWR memberikan hasil terbaik di antara ketiganya. Nilai AIC yang dihasilkan sebesar 573,1386 merupakan yang terendah, sedangkan nilai $R^2_{adjusted} = 0,9648$ merupakan yang tertinggi. Kombinasi ini menunjukkan bahwa MGWR tidak hanya memberikan tingkat akurasi yang lebih baik, tetapi juga mampu menyeimbangkan kompleksitas model dengan efisiensi penjelasan variabel. Rendahnya nilai AIC mengindikasikan bahwa model ini memiliki informasi hilang yang lebih sedikit, sementara tingginya nilai $R^2_{adjusted}$ menunjukkan bahwa model ini mampu menjelaskan hampir seluruh variasi kejadian TB Paru dengan lebih baik dibandingkan model lainnya. Berdasarkan perbandingan kedua kriteria tersebut, MGWR menjadi model yang paling tepat digunakan dalam memodelkan kasus TB Paru di Jawa Timur pada tahun 2023. Keunggulannya dalam menangkap variasi spasial secara simultan pada variabel global maupun lokal menjadikan model ini lebih mampu menggambarkan dinamika kejadian TB Paru secara komprehensif di seluruh wilayah provinsi.

KESIMPULAN

Model MGWR pada penelitian ini terdiri dari variabel global dan variabel lokal. Variabel global pada penelitian ini yaitu Kepadatan penduduk, Persentase Rumah Tangga yang Memiliki Akses Terhadap Sanitasi Layak maupun Persentase Rumah Tangga yang Memiliki Akses Terhadap Air. Sedangkan rata-rata konsumsi rokok perminggu, jumlah kasus AIDS, dan jumlah tenaga medis di Jawa Timur berpengaruh secara lokal terhadap kejadian TB Paru di tiap kabupaten/kota di Jawa Timur. Berdasarkan model, diketahui bahwa secara simultan variabel global berpengaruh terhadap respon. Secara simultan variabel lokal berpengaruh terhadap respon dan secara parsial variabel lokal berpengaruh signifikan di beberapa kabupaten/kota. Berdasarkan kriteria AIC dan $R^2_{adjusted}$, dapat disimpulkan bahwa model Mixed Geographically Weighted Regression (MGWR) ialah model terbaik untuk menjelaskan kasus TB paru di Jawa Timur tahun 2023. Model ini menunjukkan keunggulan jelas dibandingkan model Geographically Weighted Regression (GWR) dan regresi linier berganda. Tenaga medis juga merupakan faktor yang berpengaruh terhadap kasus TB paru di Jawa Timur, maka upaya pelayanan promotif, preventif, kuratif, maupun rehabilitative terhadap kejadian TB Paru di Jawa Timur dapat dilakukan dengan kerja efektif tenaga medis dalam pelayanan di puskesmas dan melakukan edukasi untuk mencegah penyebaran TB Paru di Jawa Timur.

DAFTAR PUSTAKA

- Anselin, L. 1998. *Spatial Economics : Method and Models*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- Brunsdon, C., A.S. Fotheringham dan Charlton., M.E. 2000. *Geographically Weighted Regression as a Statistical Model*. England.
- Brunsdon, C., A.S. Fotheringham dan M.E. Charlton. 2002. *Geographically Weighted Regression The Analysis of Spatially Varying Relationship*. England: John Wiley and Sons Ltd.
- Charlton, M. dan A.S. Fotheringham. 2009. *Geographically Weighted Regression: White*
Studia: Journal of Humanities and Education Studies Vol 1 No. 1 – Agustus 2025

- Paper.* National Center For Geocomputation.
- Dewi, N. K., Sukarsa, I. K., dan Srinadi, I.G. 2020. "Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Penyebaran Penyakit Tuberkulosis (TBC) di Provinsi Jawa Barat." *E-Jurnal Matematika* 165-170.
- Fischer, M.M., dan Wang, J. 2011. *Spatial Data Analysis: Models, Methods and Techniques*. Springer Science & Business Media.
- Fitriani, Dina Ayu. 2016. *Pemodelan Geographically Weighted Binary Logistic Regression (GWBLR) dengan Fungsi Pembobot Adaptive Bisquare Kernel dan Rook Contiguity*. Skripsi, Malang: Jurusan Matematika. Universitas Brawijaya.
- Fotheringham, A.S., Brunsdon, C., dan Charlton, M.E. 2009. "Geographically Weighted Regression. The Sage Handbook of Spatial Analysis." 243-254.
- Ghozali, Imam. 2007. *Applikasi Analisis Multivariate dengan Program SPSS*. Semarang: BP Universitas Diponegoro.
- Hermalia, dan Rini, D. S. 2023. "Pemodelan Persentase Balita Stunting Di Indonesia Tahun 2021 dengan Metode Mixed Geographically Weighted Regression (MGWR)." *Journal of Scientech Research and Development*.
- Kartika, S., Sufri, dan Kholijah, G. 2020. "Penggunaan Metode Geographically Weighted Regression (GWR) Untuk Mengestimasi Faktor Dominan yang Mempengaruhi Penduduk Miskin di Provinsi Jambi." *Journal of Mathematics: Theory and Applications* 37-45.
- KEMENKES RI. 2014. "Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 75 Tahun 2014 Tentang Pusat Kesehatan Masyarakat." 634.
- Khaulasari, H. 2020. "Modelling Mixed Geographically Weighted Regression for Tuberculosis Disease in Surabaya." *Journal of Physics: Conference Series* (IOP Publishing).
- Kusnandar, D., Debataraja, N.N dan Fitriani, S. 2021. "Pemodelan Sebaran Total Dissolved Solid Menggunakan Metode Mixed Geographically Weighted Regression." *Jurnal Aplikasi Statistika & Komputasi Statistik*.
- Leung, Y. 2000. "Statistical Test for Spatial Non-Stationary Based on The Geographically Weighted Regression Model." *The Chinese University of Hong Kong* (The Chinese University of Hong Kong).
- Lutfiani, N., Sugiman, dan Mariani.S . 2019. "Pemodelan Geographically Weighted Regression (GWR) dengan Fungsi Pembobot Kernel Gaussian dan Bi-Square." *UNNES Journal of Mathematics* (UNNES Journal of Mathematics) 82-91.
- Ma, Z., dan Fan, H. 2023. "Influential Factors of Tuberculosis in Mainland China Based on MGWR Model." *Plos One*.
- Nakaya, T., A. S. Fotheringham., C. Brunsdon dan M. Charlton. 2005. *Geographically Weighted Poisson Regression for Disease Associating Mapping*.
- Noorcintanami, S., Widyaningsih, Y., dan Abdullah S. 2021. "Geographically Weighted Models for Modeling the Prevalence of Tuberculosis in Java." *Journal of Physics: Conference Series* (IOP Publishing).
- Wati, D. C., dan Lina, I. R. 2020. "Geographically Weighted Regression Analysis With Adaptive Gaussian in the Social and Economic Fields for Tuberculosis in South Sumatra." *Jurnal Statistika Universitas Muhammadiyah Semarang* 22-30.
- Yunianto, D. 2018. "Analisis Pertumbuhan dan Kepadatan Penduduk Terhadap Pertumbuhan Ekonomi dan Sosial." *Forum Ekonomi*.