



Analisis Spasial Faktor Kematian Maternal di Jawa Timur Menggunakan Geographically Weighted Regression

Agus Mutia¹, Siti Alfiatur Rohmaniah², Awawin Mustana Rohmah²

¹ Mahasiswa Matematika, FST, Universitas Islam Darul 'Ulum

² Program Studi Matematika, FST, Universitas Islam Darul 'Ulum

agusmutia.2022@mhs.unisda.ac.id

Abstract

Maternal mortality is one of the key indicators in assessing public health status and the quality of maternal health services. East Java Province still exhibits considerable variation in maternal mortality rates across districts and cities, necessitating an analytical approach that accounts for regional characteristic differences. This study aims to analyze the factors influencing maternal mortality rates in East Java Province using the Geographically Weighted Regression (GWR) method. Secondary data from 2024 covering 38 districts and cities in East Java were used. The predictor variables analyzed include K1 coverage, K4 coverage, postpartum maternal health services, deliveries assisted by health professionals, vitamin A supplementation, Fe₃ tablet distribution, as well as the ratio of hospitals and community health centers. The results indicate that the GWR model with an adaptive Tricube kernel and an optimum bandwidth of 35 is the best-fitting model, with an AICc value of 261.175 and R² of 0.8646, outperforming the OLS model which yielded an R² of 0.6612. Local parameter estimation results reveal that the influence of predictor variables differs across districts and cities, indicating that the factors affecting maternal mortality are spatially varying and heterogeneous across regions.

Keywords: Maternal Mortality, Geographically Weighted Regression, Spatial Analysis,

Abstrak

Kematian maternal merupakan salah satu indikator penting dalam menilai derajat kesehatan masyarakat dan kualitas pelayanan kesehatan ibu. Provinsi Jawa Timur masih menunjukkan variasi angka kematian maternal yang cukup tinggi antar kabupaten/kota, sehingga diperlukan pendekatan analisis yang mampu mempertimbangkan perbedaan karakteristik wilayah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi angka kematian maternal di Provinsi Jawa Timur menggunakan metode Geographically Weighted Regression (GWR). Data yang digunakan merupakan data sekunder tahun 2024 pada 38 kabupaten/kota di Jawa Timur. Variabel prediktor yang dianalisis meliputi cakupan K1, cakupan K4, pelayanan kesehatan ibu nifas, persalinan oleh tenaga kesehatan, pemberian vitamin A, tablet Fe₃, serta rasio rumah sakit dan puskesmas. Hasil analisis menunjukkan bahwa model GWR dengan kernel adaptif Tricube dan bandwidth optimum 35 merupakan model terbaik dengan nilai AICc sebesar 261,175 dan R² sebesar 0,8646. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan model OLS yang memiliki R² sebesar 0,6612. Hasil estimasi parameter lokal menunjukkan bahwa pengaruh variabel prediktor berbeda pada setiap kabupaten/kota, sehingga faktor-faktor yang memengaruhi kematian maternal bersifat spasial dan tidak homogen antarwilayah.

Kata Kunci: Kematian Maternal, *Geographically Weighted Regression*, Analisis Spasial.

1. PENDAHULUAN

Kematian maternal merupakan indikator utama dalam mengukur derajat kesehatan masyarakat karena mencerminkan kualitas sistem pelayanan kesehatan ibu selama kehamilan, persalinan, hingga masa nifas. Kematian maternal didefinisikan sebagai kematian perempuan yang terjadi selama kehamilan atau dalam 42 hari setelah berakhirnya kehamilan akibat komplikasi yang berkaitan dengan kehamilan atau penanganannya. Pada skala global, penurunan AKI telah ditetapkan sebagai salah satu target dalam kerangka SDGs, dengan capaian yang diharapkan berada di bawah angka 70 kematian per 100.000 kelahiran hidup sebelum tahun 2030, sehingga AKI juga mencerminkan efektivitas sistem kesehatan suatu negara (Sumarmi, 2017).

Di Indonesia, angka kematian maternal masih tergolong tinggi dan menunjukkan perbedaan antarwilayah yang dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kondisi klinis, sosial, ekonomi, serta akses dan kualitas layanan kesehatan. Kondisi serupa juga terjadi di Provinsi Jawa Timur, di mana angka kematian maternal pada tiap Kabupaten/Kota tidak tersebar secara merata. Perbedaan ini berkaitan dengan variasi cakupan pelayanan kesehatan, seperti pemeriksaan kehamilan, persalinan oleh tenaga medis, serta ketersediaan fasilitas kesehatan. Hal tersebut menunjukkan bahwa pendekatan global belum mampu menjelaskan permasalahan secara menyeluruh, sehingga diperlukan pendekatan yang mempertimbangkan variasi spasial (Suarayasa, 2020).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa faktor pendidikan, tenaga kesehatan, akses informasi, serta komplikasi kehamilan berpengaruh terhadap angka kematian maternal (Suarayasa, 2020). Namun, sebagian besar penelitian masih menggunakan regresi global yang mengasumsikan bahwa hubungan antarvariabel bersifat homogen pada seluruh wilayah (Ayu et al., 2022). Akan tetapi, karakteristik setiap wilayah berbeda sehingga pengaruh variabel prediktor terhadap angka kematian maternal tidak selalu sama. Perkembangan metode spasial, khususnya *Geographically Weighted Regression* (GWR), mampu mengakomodasi heterogenitas spasial melalui estimasi parameter secara lokal pada setiap wilayah (Kartiningrum & Notobroto, 2022). Meskipun demikian, penerapan metode GWR dalam analisis kematian maternal masih relatif terbatas (Muna et al., 2025).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini mengintegrasikan metode regresi linier berganda dengan pendekatan *Ordinary Least Squares* (OLS) dan GWR untuk menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi kematian maternal di Provinsi Jawa Timur. Kebaruan penelitian ini terletak pada penggabungan analisis global dan spasial dalam satu kerangka pemodelan, sehingga mampu mengidentifikasi perbedaan pengaruh variabel secara lebih komprehensif baik pada tingkat global maupun lokal. Selain itu, penelitian ini menggunakan analisis komputasi yang dilakukan secara sistematis dan dapat diulang, sehingga hasilnya diharapkan tidak hanya bermanfaat secara ilmiah, tetapi juga dapat menjadi dasar dalam penyusunan kebijakan kesehatan yang lebih tepat sasaran dan berbasis bukti.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data sekunder dari Laporan Kesehatan Provinsi Jawa Timur Tahun 2024, mencakup 38 Kabupaten/Kota (29 kabupaten dan 9 kota) dengan pendekatan *cross-sectional*. Data dikumpulkan melalui teknik dokumentasi dan dilengkapi koordinat geografis berupa lintang dan bujur setiap wilayah sebagai penunjang analisis spasial.

Tabel 1. Variabel Penelitian.

Variabel	Keterangan
Y	Kematian Maternal
X ₁	Cakupan K1 ibu hamil
X ₂	Cakupan K4 ibu hamil
X ₃	Cakupan penanganan komplikasi obstetri ibu hamil
X ₄	Cakupan pelayanan kesehatan ibu nifas
X ₅	Cakupan persalinan oleh tenaga kesehatan
X ₆	Cakupan pemberian vitamin A ibu nifas
X ₇	Cakupan pemberian tablet Fe3 ibu hamil
X ₈	Rasio rumah sakit per jumlah penduduk
X ₉	Rasio puskesmas per jumlah penduduk
u	koordinat lintang kabupaten/kota
v	koordinat bujur kabupaten/kota

Analisis data dilakukan menggunakan *software R* untuk pengolahan data, analisis deskriptif, pemodelan *Ordinary Least Squares* (OLS), pengujian aspek spasial, serta pemodelan *Geographically Weighted Regression* (GWR). Visualisasi hasil analisis spasial dilakukan menggunakan *Geographic Information System* (GIS).

2.1 Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif dilakukan sebagai langkah eksplorasi awal guna memperoleh gambaran umum mengenai sebaran dan karakteristik data penelitian. Ukuran statistik yang dihitung meliputi nilai rata-rata, standar deviasi, nilai minimum, dan nilai maksimum dari setiap variabel yang diamati (Lessani & Li, 2024).

2.2 Uji Multikolinearitas

Deteksi multikolinearitas dilakukan menggunakan nilai *Variance Inflation Factor* (VIF). VIF berfungsi untuk mengukur sejauh mana suatu variabel prediktor dapat dijelaskan oleh variabel prediktor lainnya dalam model regresi (James et al., 2021). Apabila nilai $VIF < 10$, maka dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat masalah multikolinearitas dalam model.

$$VIF_j = \frac{1}{1 - R_j^2} \quad (1)$$

2.3 Regresi Linear Berganda (OLS)

Pemodelan regresi linear berganda dilakukan menggunakan metode *Ordinary Least Squares* (OLS), yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh dua atau lebih variabel prediktor secara simultan terhadap variabel respons (Montgomery et al., 2021). Bentuk umum model regresi linear berganda dituliskan sebagai berikut :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon \quad (2)$$

dengan y_i adalah nilai variabel respon, β_0 konstanta, β_k koefisien prediktor ke- k , x_{ik} nilai prediktor ke- k pada lokasi ke- i , dan ϵ_i galat yang berdistribusi normal dengan rata-rata nol dan ragam σ^2 . Seleksi variabel dilakukan menggunakan metode *stepwise* dua arah berbasis AIC untuk memperoleh kombinasi variabel yang optimal (James et al., 2023), dengan formulasi:

$$AIC = -2\ln(\hat{L}) + 2p \quad (3)$$

di mana \hat{L} adalah nilai likelihood maksimum dan p adalah jumlah parameter. Selanjutnya, dilakukan pengujian asumsi meliputi deteksi multikolinearitas menggunakan VIF serta pengujian spasial melalui uji *Breusch-Pagan* dan uji *Moran's I* sebagai prasyarat penerapan model GWR (James et al., 2023).

2.4 Pengujian Aspek Spasial

1. Pengujian *Moran's I*

Uji *Moran's I* digunakan untuk mendeteksi ada tidaknya autokorelasi spasial antarlokasi (Mailanda & Kusnandar, 2022), dengan hipotesis:

$H_0 : I = 0$ (tidak terdapat dependensi spasial)

$H_1 : I \neq 0$ (terdapat dependensi spasial)

Statistik uji diformulasikan sebagai:

$$Z_I = \frac{\hat{I} - E(\hat{I})}{\sqrt{\text{Var}(\hat{I})}} \quad (4)$$

2. Pengujian *Breusch-Pagan (BP)*

Uji *Breusch-Pagan (BP)* digunakan untuk mendeteksi heterogenitas spasial pada ragam galat antarlokasi (Montgomery et al., 2021), dengan hipotesis:

$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_i^2$ (tidak terdapat heterogenitas spasial)

$H_1 : \text{minimal terdapat satu } \sigma_i^2 \neq \sigma^2$ (terdapat heterogenitas spasial)

Statistik uji dirumuskan sebagai:

$$BP = \frac{1}{2} \mathbf{f}^T \mathbf{Z} (\mathbf{Z}^T \mathbf{Z})^{-1} \mathbf{Z}^T \mathbf{f} \quad (5)$$

di mana \mathbf{f} adalah vektor residual yang telah ditransformasikan dan \mathbf{Z} adalah matriks variabel independen berukuran $n \times (p+1)$. H_0 ditolak apabila $BP > \chi^2_{(p)}$ atau $p\text{-value} < \alpha = 5\%$ (Mikolajczyk et al., 2024).

2.5 Pemodelan *Geographically Weighted Regression (GWR)*

1. Model Umum GWR

Model GWR dinyatakan sebagai berikut (Fotheringham et al., 2023):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon \quad (6)$$

dengan (u_i, v_i) merupakan koordinat geografis pada lokasi ke- i , $\beta_k(u_i, v_i)$ adalah parameter regresi yang bersifat lokal dan bervariasi antarwilayah, x_{ik} adalah variabel prediktor pada lokasi ke- i , dan ϵ_i merupakan galat pada lokasi ke- i . Model ini menunjukkan bahwa hubungan antara variabel respons dan variabel prediktor dapat berbeda pada setiap lokasi pengamatan (Yu et al., 2020).

2. Perhitungan Jarak Euclidean

Pembobot spasial pada model GWR ditentukan berdasarkan kedekatan jarak antarwilayah. Semakin dekat jarak antar lokasi, maka semakin besar bobot yang diberikan dalam proses estimasi parameter lokal (Fotheringham et al., 2023). Jarak antar lokasi dihitung menggunakan *Euclidean Distance* sebagai berikut:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \quad (7)$$

dengan d_{ij} menyatakan jarak antara lokasi ke- i dan lokasi ke- j .

3. Fungsi Kernel dan Bobot Spasial

Pada penelitian ini digunakan fungsi kernel adaptif *Bisquare*, *Tricube*, dan *Gaussian* untuk membentuk bobot spasial (L. Comber & Brunson, 2020). Fungsi kernel tersebut dinyatakan sebagai berikut:

Kernel *Adaptive Bisquare*:

$$w_{ij}^{(Bisquare)} = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{d_{ij}}{b}\right)^2\right)^2, & d_{ij} < b \\ 0, & d_{ij} \geq b \end{cases} \quad (8)$$

Kernel *Adaptive Tricube*:

$$w_{ij}^{(Tricube)} = \begin{cases} \left(1 - \left|\frac{d_{ij}}{b}\right|^3\right)^3, & d_{ij} < b \\ 0, & d_{ij} \geq b \end{cases} \quad (9)$$

Kernel *Adaptive Gaussian*:

$$w_{ij}^{(Gaussian)} = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{d_{ij}}{b}\right)^2\right) \quad (10)$$

dengan b merupakan bandwidth yang mengatur tingkat pengaruh jarak terhadap pembobot spasial (A. Comber et al., 2023).

4. Penentuan Bandwidth Optimal

Penentuan *bandwidth* optimal dilakukan menggunakan metode *Cross Validation* (CV) dengan persamaan berikut (Fotheringham et al., 2023).

$$CV(b) = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{-i}(b))^2 \quad (11)$$

Model terbaik dipilih berdasarkan nilai CV minimum (A. Comber et al., 2023).

5. Estimasi Parameter GWR

Estimasi parameter model dilakukan menggunakan metode *Weighted Least Squares* (WLS) dengan matriks pembobot spasial $W(u_i, v_i)$, sehingga estimator parameter GWR dirumuskan sebagai berikut (Fotheringham et al., 2023):

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = (X^T W(u_i, v_i) X)^{-1} X^T W(u_i, v_i) y \quad (12)$$

dengan $W(u_i, v_i)$ merupakan matriks pembobot spasial pada lokasi ke-i.

2.6 Pengujian Kesesuaian Model

1. Koefisien Determinasi (R^2)

Koefisien determinasi (R^2) digunakan untuk mengetahui besarnya kemampuan variabel prediktor dalam menerangkan keragaman variabel respon. Nilai R^2 yang semakin mendekati 1 menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan yang semakin baik dalam menjelaskan data (Hair et al., 2019). Persamaan koefisien determinasi dituliskan sebagai berikut:

$$R^2 = \frac{JKR}{JKT} \quad (13)$$

dengan JKR adalah jumlah kuadrat regresi dan JKT merupakan jumlah kuadrat total.

2. Akaike Information Criterion (AIC)

AIC digunakan untuk mengevaluasi dan memilih model yang paling optimal. Model dengan nilai AIC atau AICc yang lebih rendah dianggap lebih baik karena memiliki tingkat kesalahan yang lebih kecil dan kompleksitas model yang lebih efisien. (Oshan et al., 2019). Persamaan AICc dirumuskan sebagai berikut:

$$AICc = 2n \ln(\hat{\sigma}) + n \ln(2\pi) + n \left(\frac{n + \text{tr}(S)}{n - 2 - \text{tr}(S)} \right) \quad (14)$$

dengan n menyatakan banyaknya observasi, $\hat{\sigma}$ adalah estimasi simpangan baku galat, dan $\text{tr}(S)$ merupakan *trace matriks smoothing*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Deskriptif Variabel Penelitian

Analisis deskriptif dilakukan untuk menggambarkan karakteristik variabel penelitian pada 38 Kabupaten/Kota di Provinsi Jawa Timur. Hasil statistik deskriptif disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Statistik Deskriptif.

Variabel	Mean	Std. Deviasi	Minimum	Maksimum
Y	12,737	9,655	2,000	45,000
X ₁	80,132	13,774	50,000	105,000
X ₂	79,613	12,283	59,560	105,000
X ₃	97,979	19,504	64,870	154,730

X ₄	77,442	14,378	50,000	105,000
X ₅	77,173	17,569	50,000	105,000
X ₆	79,392	15,237	52,430	105,000
X ₇	78,250	16,145	50,000	105,000
X ₈	1,109	1,014	0,300	4,370
X ₉	2,558	0,659	1,430	4,370

Berdasarkan Tabel 2, angka kematian maternal (Y) memiliki rata-rata sebesar 12,737 dengan nilai minimum 2,000 dan maksimum 45,000, yang menunjukkan adanya variasi antarwilayah. Variabel cakupan pelayanan kesehatan ibu (X1–X7) memiliki rata-rata yang relatif tinggi, sedangkan rasio rumah sakit (X8) dan rasio puskesmas (X9) menunjukkan perbedaan ketersediaan fasilitas kesehatan pada masing-masing Kabupaten/Kota di Jawa Timur.

3.2 Pengujian Multikolinearitas

Pengujian multikolinearitas dilakukan menggunakan *Variance Inflation Factor (VIF)*. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 3 :

Tabel 3. Hasil uji Multikolinearitas

Variabel	VIF
X ₁	1,806
X ₂	2,312
X ₃	1,256
X ₄	1,937
X ₅	1,849
X ₆	2,372
X ₇	2,186
X ₈	2,147
X ₉	1,162

Berdasarkan Tabel 3, seluruh variabel prediktor memiliki nilai VIF kurang dari 10, sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat masalah multikolinearitas dan seluruh variabel layak digunakan dalam analisis selanjutnya.

3.3 Pemodelan Regresi Linear Berganda (OLS)

Setelah seluruh variabel dinyatakan bebas dari multikolinearitas, dilakukan estimasi parameter model regresi linear berganda menggunakan metode OLS. Hasil estimasi parameter disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Estimasi Parameter.

Parameter	Koefisien
$\hat{\beta}_0$	34,338
$\hat{\beta}_1$	-0,347
$\hat{\beta}_2$	-0,305
$\hat{\beta}_3$	0,047
$\hat{\beta}_4$	0,189

$\hat{\beta}_5$	0,143
$\hat{\beta}_6$	0,390
$\hat{\beta}_7$	-0,219
$\hat{\beta}_8$	-4,211
$\hat{\beta}_9$	-3,503

Berdasarkan Tabel 4, hasil estimasi parameter digunakan sebagai dasar pengujian signifikansi model secara simultan melalui uji F dan secara parsial melalui uji t.

Tabel 5. Uji Signifikansi Model

Keterangan	F-value	p-value
Regresi	6.274	$7,856 \times 10^{-5}$

Berdasarkan hasil pengujian simultan pada Tabel 5, diperoleh nilai F-statistik sebesar 6,274 dengan *p-value* sebesar $7,856 \times 10^{-5}$ yang lebih kecil dari $\alpha = 5\%$, sehingga H_0 ditolak. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat minimal satu variabel prediktor yang berpengaruh signifikan terhadap angka kematian maternal di Provinsi Jawa Timur. Selanjutnya dilakukan pengujian parsial untuk mengetahui pengaruh masing-masing variabel prediktor. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Uji Signifikansi Parsial

Variabel	p-value
Intercept	0,006**
X ₁	0,002**
X ₂	0,026**
X ₃	0,439
X ₄	0,074
X ₅	0,089
X ₆	0,001**
X ₇	0,030*
X ₈	0,010**
X ₉	0,051

Berdasarkan Tabel 6, variabel X₁, X₂, X₆, X₇, dan X₈ berpengaruh signifikan terhadap angka kematian maternal karena memiliki p-value kurang dari $\alpha = 5\%$. Sebaliknya, variabel X₃, X₄, X₅, dan X₉ belum menunjukkan pengaruh signifikan secara parsial.

Adanya variabel yang tidak signifikan mendorong dilakukannya seleksi variabel menggunakan metode *stepwise* berbasis AIC untuk memperoleh model yang lebih optimal. Hasil estimasi model setelah seleksi variabel disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Estimasi Parameter Setelah Seleksi Variabel.

Parameter	Variabel	Koefisien	p-value	Keterangan
$\hat{\beta}_0$	Intercept	36,808	0,002	Signifikan
$\hat{\beta}_1$	X ₁	-0,358	0,001	Signifikan
$\hat{\beta}_2$	X ₂	-0,302	0,027	Signifikan
$\hat{\beta}_3$	X ₃	-	-	(Dieliminasi p = 0,439)

$\hat{\beta}_4$	X ₄	0,207	0,044	Signifikan
$\hat{\beta}_5$	X ₅	0,158	0,053	Tidak signifikan
$\hat{\beta}_6$	X ₆	0,398	0,001	Signifikan
$\hat{\beta}_7$	X ₇	-0,223	0,026	Signifikan
$\hat{\beta}_8$	X ₈	-4,253	0,009	Signifikan
$\hat{\beta}_9$	X ₉	-3,527	0,048	Signifikan

Berdasarkan Tabel 7, metode *stepwise* mengeliminasi variabel X3 karena memiliki nilai *p-value* terbesar, yaitu 0,439. Sementara itu, variabel X5 tetap dipertahankan dalam model meskipun memiliki *p-value* sebesar 0,053 karena masih memberikan kontribusi terhadap nilai AIC model secara keseluruhan (James et al., 2013). Variabel X1, X2, X4, X6, X7, X8, dan X9 memiliki *p-value* kurang dari $\alpha = 5\%$, sehingga berpengaruh signifikan terhadap angka kematian maternal di Provinsi Jawa Timur. Berdasarkan hasil estimasi parameter, diperoleh model regresi linear berganda sebagai berikut:

$$\hat{Y} = 36,808 - 0,358X_1 - 0,302X_2 + 0,207X_4 + 0,158X_5 + 0,398X_6 - 0,223X_7 - 4,253X_8 - 3,527X_9$$

Selanjutnya, dilakukan evaluasi kebaikan model untuk mengetahui kemampuan model dalam menjelaskan variasi angka kematian maternal. Hasil evaluasi model disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Kriteria Kebaikan Model OLS Setelah Seleksi Variabel

Model	F- Statistik	p-value	R ²	Adjusted R ²	AIC
OLS Stepwise	7,075	$3,64 \times 10^{-5}$	0,6612	0,5678	258,026

Berdasarkan Tabel 8, model regresi linear berganda setelah seleksi variabel signifikan secara simultan dengan nilai *p-value* sebesar $3,64 \times 10^{-5}$, yang lebih kecil dari $\alpha = 5\%$. Selain itu, model memiliki nilai koefisien determinasi sebesar $R^2 = 0,6612$, yang menunjukkan bahwa sebesar 66,12% variasi angka kematian maternal di Provinsi Jawa Timur dapat dijelaskan oleh variabel prediktor dalam model, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar model. Nilai *Adjusted R²* sebesar 0,5678 menunjukkan kemampuan penjelasan model setelah mempertimbangkan jumlah variabel prediktor yang digunakan.

3.4 Pengujian Aspek Spasial

Pengujian aspek spasial dilakukan menggunakan uji *Breusch-Pagan* dan uji *Moran's I* sebagai prasyarat pembentukan model GWR. Uji *Breusch-Pagan* digunakan untuk mendeteksi heterogenitas spasial pada ragam galat, sedangkan uji *Moran's I* digunakan untuk mengetahui adanya dependensi spasial antarlokasi pengamatan. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Pengujian Aspek Spasial.

Pengujian	Nilai	p - value	Keputusan
<i>Breusch-Pagan</i>	10,318	0,2434	H ₀ gagal ditolak

$$\frac{\text{Moran's } I}{0,452 \quad 3,641 \times 10^{-7} \quad H_0 \text{ ditolak}}$$

Berdasarkan Tabel 9, uji Breusch–Pagan menghasilkan *p-value* sebesar 0,2434 yang lebih besar dari $\alpha = 5\%$, sehingga H_0 gagal ditolak. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tidak terdapat heterogenitas spasial pada ragam galat antarlokasi. Sementara itu, uji *Moran's I* menghasilkan nilai statistik sebesar 0,452 dengan *p-value* sebesar $3,641 \times 10^{-7}$ yang lebih kecil dari $\alpha = 5\%$, sehingga H_0 ditolak. Hal ini menunjukkan adanya dependensi spasial antar kabupaten/kota di Provinsi Jawa Timur. Dengan demikian, adanya dependensi spasial pada data mendukung penggunaan model GWR untuk menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi angka kematian maternal di Jawa Timur.

3.5 Pemodelan *Geographically Weighted Regression (GWR)*

Pemodelan GWR diawali dengan perhitungan jarak *Euclidean* berdasarkan koordinat geografis 38 kabupaten/kota di Provinsi Jawa Timur. Perhitungan tersebut menghasilkan matriks jarak berukuran 38×38 dengan jarak minimum sebesar 3.636,98 meter dan maksimum sebesar 345.796,49 meter. Matriks jarak *Euclidean* ditunjukkan sebagai berikut:

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{138} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{238} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{381} & d_{382} & \dots & d_{3838} \end{bmatrix} D = \begin{bmatrix} 0 & 66979,99 & \dots & 336687,69 \\ 66979,99 & 0 & \dots & 270292,53 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 336687,69 & 270292,53 & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

Berdasarkan matriks tersebut, jarak antarwilayah digunakan sebagai dasar pembentukan pembobot spasial, di mana lokasi yang berdekatan memiliki pengaruh yang lebih besar dibandingkan lokasi yang berjauhan. Selanjutnya, dilakukan penentuan bandwidth optimum menggunakan metode *Cross Validation (CV)* pada fungsi kernel Gaussian, Bisquare, dan Tricube. Hasil optimasi bandwidth disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Optimasi Bandwidth.

Kernel	Bandwidth	CV Score
Gaussian	19	1663,946
Bisquare	35	1516,007
Tricube	35	1516,803

Berdasarkan Tabel 10, kernel Gaussian menghasilkan bandwidth optimum sebesar 19 tetangga, sedangkan kernel Bisquare dan Tricube menghasilkan bandwidth optimum sebesar 35 tetangga. Selanjutnya, model GWR dibangun menggunakan bandwidth optimal pada masing-masing kernel dan hasilnya disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil Pemodelan GWR.

Kernel	Bandwidth	AICc	R ²
Gaussian	19	263,686	0,8177
Bisquare	35	263,198	0,8775
Tricube	35	261,175	0,8646

Berdasarkan Tabel 11, model GWR dengan kernel Tricube dipilih sebagai model terbaik karena menghasilkan nilai AICc terkecil sebesar 261,175, sehingga estimasi parameter selanjutnya dilakukan menggunakan metode *Weighted Least Square* (WLS) dengan fungsi pembobot kernel Tricube Adaptif dan bandwidth optimal sebesar 35. Hasil estimasi parameter lokal untuk seluruh 38 kabupaten/kota di Provinsi Jawa Timur disajikan pada tabel berikut.

Tabel 12. Estimasi Parameter GWR

Kabupaten/Kota	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$...	$\hat{\beta}_9$
Kab. Pacitan	19,190	-0,198	...	-2,680
Kab. Ponorogo	21,808	-0,201	...	-2,549
Kab. Trenggalek	20,796	-0,195	...	-2,590
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Kota Madiun	23,264	-0,210	...	-2,630
Kota Surabaya	36,741	-0,074	...	-0,768
Kota Batu	26,140	-0,155	...	-1,224

3.6 Pengujian Kesesuaian Model

Pemilihan model terbaik menggunakan koefisien determinasi (R^2) dan *Akaike Information Criterion* (AIC/AICc). Nilai R^2 yang lebih besar dan AIC/AICc yang lebih kecil mengindikasikan model yang lebih optimal dalam menjelaskan keragaman data.

Tabel 13. Perbandingan Model OLS dan GWR.

Model	AIC/AICc	R^2
Regresi Linear Berganda (OLS)	258,026	0,6612
GWR (Tricube, bw = 35)	261,175	0,8646

Berdasarkan Tabel 13, model GWR dengan kernel Tricube menghasilkan nilai R^2 sebesar 0,8646, lebih tinggi dibandingkan OLS sebesar 0,6612, sehingga GWR lebih mampu menjelaskan variasi angka kematian maternal antarwilayah. Meskipun nilai AICc GWR (261,175) sedikit lebih besar dari AIC OLS (258,026), model GWR tetap dipilih sebagai model terbaik karena mampu menangkap heterogenitas spasial dengan bandwidth adaptif sebesar 35 dari total 38 kabupaten/kota di Jawa Timur.

3.7 Interpretasi Hasil Model GWR

Hasil estimasi koefisien lokal GWR disajikan pada Tabel 14.

Tabel 14. Persamaan Model GWR pada Kabupaten/Kota

No	Kab/Kota	Persamaan Model GWR
1.	Kab. Pacitan	$\hat{Y} = 19,190 - 0,198X_1 - 0,117X_2 + 0,070X_4 + 0,095X_5 + 0,218X_6 - 0,052X_7 - 3,096X_8 - 2,680X_9$
2.	Kab. Ponorogo	$\hat{Y} = 21,808 - 0,201X_1 - 0,149X_2 + 0,079X_4 + 0,093X_5 + 0,235X_6 - 0,079X_7 - 2,904X_8 - 2,549X_9$
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮

nifas, pemberian vitamin A ibu nifas, pemberian tablet Fe3 ibu hamil, serta rasio rumah sakit per jumlah penduduk, dengan model GWR kernel adaptif Tricube (bandwidth = 35) menghasilkan $R^2 = 0,8646$ yang lebih tinggi dibandingkan model OLS ($R^2 = 0,6612$), mengindikasikan bahwa pengaruh setiap variabel prediktor bersifat tidak homogen dan bervariasi secara spasial antarkabupaten/kota. Hambatan utama dalam penurunan angka kematian maternal adalah ketimpangan ketersediaan fasilitas kesehatan, sebagaimana ditunjukkan oleh rasio rumah sakit (X8) yang menjadi variabel paling konsisten berpengaruh di seluruh wilayah Jawa Timur, sehingga pemerataan fasilitas kesehatan perlu menjadi prioritas utama dalam kebijakan kesehatan ibu di Provinsi Jawa Timur.

5. REKOMENDASI

Pemerintah daerah di Provinsi Jawa Timur disarankan untuk meningkatkan kualitas dan pemerataan pelayanan kesehatan ibu, khususnya pada indikator yang terbukti berpengaruh terhadap angka kematian maternal, dengan mempertimbangkan karakteristik masing-masing wilayah. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan variabel sosial ekonomi dan menggunakan metode spasial yang lebih lanjut agar diperoleh hasil analisis yang lebih komprehensif.

6. REFERENSI

- Ayu, Y., Qomari, N., & Notobroto, H. B. (2022). Kunjungan ibu hamil K1 dan K4 terhadap angka kematian ibu di Provinsi Jawa Timur. *Preventif: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 13, 586–595. <https://doi.org/10.22487/preventif.v13i4.309>
- Comber, A., Brunsdon, C., Charlton, M., Dong, G., Harris, R., Lu, B., Lü, Y., Murakami, D., Nakaya, T., & Wang, Y. (2023). A route map for successful applications of geographically weighted regression. *Geographical Analysis*, 55(1), 155–178. <https://doi.org/10.1111/gean.12316>
- Comber, L., & Brunsdon, C. (2020). *Geographical data science and spatial data analysis: An introduction in R*. London: Sage.
- Fotheringham, A. S., Oshan, T. M., & Li, Z. (2023). *Multiscale geographically weighted regression: Theory and practice*. Boca Raton: CRC Press.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis* (8th ed.). Hampshire: Cengage.
- James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An introduction to statistical learning: With applications in R*. New York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7138-7>
- James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2021). Linear model selection and regularization. In *An introduction to statistical learning: With applications in R* (pp. 225–288). New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1418-1_6
- James, G., Witten, D., Hastie, T., Tibshirani, R., & Taylor, J. (2023). Statistical learning. In *An introduction to statistical learning: With applications in Python* (pp. 15–67). New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-38747-0_2
- Kartiningrum, E. D., & Notobroto, H. B. (2022). Determinan kematian ibu di Provinsi Jawa Timur pada masa pandemi Covid-19. *Hospital Majapahit*, 14(1), 90–102.

<https://doi.org/10.55316/hm.v14i1.772>

- Lessani, M. N., & Li, Z. (2024). SGWR: Similarity and geographically weighted regression. *International Journal of Geographical Information Science*, 38(7), 1232–1255. <https://doi.org/10.1080/13658816.2024.2342319>
- Mailanda, R., & Kusnandar, D. (2022). Analisis autokorelasi spasial kasus positif Covid-19 menggunakan Indeks Moran dan LISA. *Bimaster: Buletin Ilmiah Matematika, Statistika dan Terapannya*, 11(3). <https://doi.org/10.26418/bbimst.v11i3.55447>
- Mikolajczyk, A. P., Fortela, D. L. B., Berry, J. C., Chiridon, W. M., Hernandez, R. A., Gang, D. D., & Zappi, M. E. (2024). Evaluating the suitability of linear and nonlinear regression approaches for the Langmuir adsorption model as applied toward biomass-based adsorbents: Testing residuals and assessing model validity. *Langmuir*, 40(39), 20428–20442. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.4c01786>
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2021). *Introduction to linear regression analysis*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Muna, M. L. L., Sutningsih, D., Fauzi, M., & Dharmawan, Y. (2025). Geographically weighted regression (GWR) analysis of factors related to dengue hemorrhagic fever in Central Java Province, Indonesia. *Mosquito Journal*, 12(2), 19–24. <https://www.dipterajournal.com/pdf/2025/vol12issue2/PartA/12-1-11-810.pdf>
- 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>
- Suarayasa, K. (2020). *Strategi menurunkan angka kematian ibu (AKI) di Indonesia*. Yogyakarta: Deepublish.
- Sumarmi, S. (2017). Model sosio ekologi perilaku kesehatan dan pendekatan continuum of care untuk menurunkan angka kematian ibu. *The Indonesian Journal of Public Health*, 12(1), 129. <https://doi.org/10.20473/ijph.v12i1.2017.129-141>
- Yu, H., Fotheringham, A. S., Li, Z., Oshan, T., Kang, W., & Wolf, L. J. (2020). Inference in multiscale geographically weighted regression. *Geographical Analysis*, 52(1), 87–106. <https://doi.org/10.1111/gean.12189>