



PEMODELAN *GEOGRAPHICALLY WEIGHTED REGRESSION* PADA KASUS PNEUMONIA DI INDONESIA

Bernadita Oktaviani¹⁾, Nonong Amalita^{2,*}, Yenni Kurniawati³⁾,
Zamahsary Martha⁴⁾

^{1,2,3,4)}Program Studi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Padang

*email: nongmat@fmipa.unp.ac.id

Abstrak: Pneumonia adalah penyakit infeksi pernafasan yang menjadi salah satu penyumbang terbesar kasus kematian pada balita dan termasuk dalam salah satu masalah kesehatan secara global. Kematian balita akibat pneumonia di Indonesia mengalami peningkatan dari 459 kasus pada tahun 2022 menjadi 522 kasus pada tahun 2023 yang menunjukkan bahwa pneumonia masih menjadi masalah serius bagi kesehatan balita. *Geographically Weighted Regression* (GWR) adalah metode yang digunakan dalam penelitian ini. Data penelitian ini diperoleh dari publikasi yang diterbitkan oleh Kemenkes RI, yaitu Profil Kesehatan Indonesia 2023. Tujuan penelitian ini untuk mengevaluasi penerapan model GWR dalam memodelkan data spasial dan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap jumlah kasus pneumonia balita di Indonesia. Hasil analisis menunjukkan bahwa model GWR memberikan hasil yang lebih baik dalam memodelkan jumlah kasus pneumonia pada balita dibandingkan model regresi linier berganda dengan nilai AIC sebesar 15,66953 dan R^2 sebesar 94,66%. Faktor-faktor yang berpengaruh signifikan terhadap jumlah kasus pneumonia pada balita di Indonesia tahun 2023 adalah persentase balita yang mendapat vitamin A, persentase bayi mendapat ASI eksklusif sampai 6 bulan, jumlah puskesmas, persentase bayi yang mendapat imunisasi dasar lengkap, persentase rumah tangga yang memiliki akses terhadap sanitasi layak, persentase penduduk miskin, persentase kejadian gizi buruk pada balita usia 0-59 bulan, dan jumlah bayi berat badan lahir rendah (BBLR).

Kata Kunci: GWR; Pneumonia; Balita; Analisis Spasial

Abstract: Pneumonia is a respiratory infection that is one of the largest contributors to under-five mortality and is a global health problem. Under-five deaths due to pneumonia in Indonesia have increased from 459 cases in 2022 to 522 cases in 2023, indicating that pneumonia is still a serious problem for the health of under-fives. *Geographically Weighted Regression* (GWR) is the method used in this study. The data for this study was obtained from a publication published by the Indonesian Ministry of Health, namely the Indonesian Health Profile 2023. The purpose of this study is to evaluate the application of the GWR model in modeling spatial data and to identify factors that influence the number of under-five pneumonia cases in Indonesia. The results of the analysis showed that the GWR model provided better results in modeling the number of pneumonia cases among under-fives than the multiple linear regression model with an AIC value of 15.66953 and R^2 of 94.66%. Factors that have a significant effect on the number of pneumonia cases among children under five in Indonesia in 2023 are the percentage of children under five who received vitamin A, the percentage of infants exclusively breastfed until 6 months, the number of health centers, the percentage of infants who received complete basic immunization, the



percentage of households with access to proper sanitation, the percentage of poor people, the percentage of malnutrition case among children aged 0-59 months, and the number of low birth weight infants.

Keywords: *GWR; Pneumonia; Under-Five Children; Spatial Analysis*

PENDAHULUAN

Pneumonia merupakan penyakit infeksi paru-paru yang hingga kini masih tergolong sebagai salah satu tantangan utama dalam sektor kesehatan di berbagai negara, termasuk Indonesia. Pneumonia menjadi masalah kesehatan yang serius, terutama bagi balita yang sistem kekebalan tubuhnya belum sepenuhnya berkembang. Menurut Sari & Cahyati (2019), pneumonia adalah infeksi paru-paru yang penyebabnya dapat berupa bakteri, virus, maupun jamur. Pneumonia paling umum disebabkan oleh bakteri *Streptococcus pneumoniae* dan penyebab pneumonia kedua paling umum adalah bakteri *Haemophilus influenzae*.

Setiap tahunnya, pneumonia menyebabkan lebih dari 725.000 kematian anak balita dengan sekitar 190.000 di antaranya adalah bayi yang baru lahir dan cenderung mudah terinfeksi karena daya tahan tubuh yang belum optimal (UNICEF, 2024). Berdasarkan data dari Profil Kesehatan Indonesia, tercatat sebanyak 386.724 kasus pneumonia pada balita tahun 2022 di Indonesia. Dari semua penderita, sebanyak 459 balita mengalami kematian akibat penyakit tersebut. Sedangkan, pada tahun 2023 kasus pneumonia mengalami peningkatan menjadi 416.435 kasus dengan angka kematian mencapai 522 balita. Peningkatan ini cukup signifikan dan menunjukkan bahwa pneumonia masih menjadi masalah serius bagi kesehatan balita. Oleh sebab itu, diperlukan tindakan pencegahan, deteksi dini, serta penanganan yang lebih tepat terhadap penyakit pneumonia balita.

Menurut penelitian yang dilakukan Afriani & Oktavia (2021) dalam mengidentifikasi faktor risiko yang berpotensi meningkatkan kemungkinan terjadinya pneumonia pada bayi, diperoleh bahwa ada hubungan antara jenis kelamin, status gizi, dan pemberian ASI eksklusif dengan peningkatan risiko terjadinya pneumonia. Selain itu, Kurnia et al. (2023) dalam penelitian yang menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi kejadian pneumonia pada balita berdasarkan Teori Segitiga Epidemiologi, faktor yang berpengaruh adalah usia, berat badan lahir, pemberian ASI eksklusif, status imunisasi, status gizi, perilaku hidup bersih dan sehat, paparan asap rokok, serta jarak rumah ke pabrik dan jalan.

Perbedaan letak geografis serta keragaman faktor yang berkontribusi terhadap kejadian pneumonia di masing-masing lokasi menyebabkan jumlah kasus pneumonia di Indonesia bervariasi antar wilayah (Supratiknyo & Siwiendrayanti, 2024). Upaya menangani permasalahan tingginya jumlah kasus pneumonia pada balita di Indonesia dapat dilakukan dengan mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhinya (Nadya et al., 2017). Dalam hal ini, regresi linier berganda dapat digunakan untuk mengukur besarnya pengaruh beberapa faktor terhadap jumlah kasus pneumonia. Model ini menganggap bahwa hubungan antar variabel bersifat seragam di seluruh lokasi pengamatan.



Namun, pendekatan regresi linier berganda kurang sesuai untuk menganalisis data spasial yang menunjukkan variasi karakteristik antar wilayah. Pada kenyataannya, penyebaran kasus pneumonia balita di Indonesia tidak merata dan menunjukkan adanya pola ketimpangan spasial yang sulit dijelaskan secara menyeluruh melalui pendekatan regresi linier berganda. Perbedaan karakteristik antar wilayah serta adanya ketergantungan berdasarkan jarak antar wilayah mengakibatkan timbulnya efek spasial yang terdiri atas heterogenitas spasial dan autokorelasi spasial (Anselin, 1988). Menurut Fotheringham et al. (2002), model yang mampu menangani masalah heterogenitas spasial dan autokorelasi spasial adalah *Geographically Weighted Regression* (GWR). Dalam pendekatan GWR, bobot yang diberikan kepada setiap lokasi pengamatan berbeda sehingga mengakibatkan nilai parameter yang dihasilkan bersifat lokal dan berbeda-beda juga antar lokasi. Dengan demikian, GWR menjadi metode yang lebih tepat untuk mengidentifikasi variasi spasial serta menganalisis hubungan lokal antara beberapa variabel independen dengan jumlah kasus pneumonia balita di Indonesia.

Pengaplikasian GWR telah dilakukan oleh Lutfiani et al. (2019), hasil penelitian menunjukkan kinerja model GWR lebih baik dibandingkan model regresi linier berganda. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Mujiarti et al. (2024) membahas penerapan model GWR terhadap angka partisipasi sekolah di Kalimantan Barat tahun 2022, diperoleh model terbaik yaitu model GWR yang menggunakan pembobot kernel adaptive bisquare.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penerapan model GWR dalam memodelkan data spasial serta untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap jumlah kasus pneumonia pada balita di Indonesia tahun 2023.

METODE PENELITIAN

Data sekunder yang digunakan bersumber dari publikasi Kemenkes RI yaitu Profil Kesehatan Indonesia 2023. Penelitian ini terdiri dari 34 provinsi sebagai unit pengamatan. Penelitian ini menggunakan Jumlah Kasus Pneumonia pada Balita (Y) sebagai variabel dependen, dengan delapan variabel independen meliputi Persentase Balita yang Mendapat Vitamin A (X_1), Persentase Bayi Mendapat ASI Eksklusif sampai 6 Bulan (X_2), Jumlah Puskesmas (X_3), Persentase Bayi yang Mendapat Imunisasi Dasar Lengkap (X_4), Persentase Rumah Tangga yang Memiliki Akses terhadap Sanitasi Layak (X_5), Persentase Penduduk Miskin (X_6), Persentase Kejadian Gizi Buruk pada Balita Usia 0-59 Bulan (X_7), dan Jumlah Bayi Berat Badan Lahir Rendah (BBLR) (X_8).

Penelitian ini menerapkan pendekatan *Geographically Weighted Regression* dengan langkah-langkah analisis menggunakan *software* R Studio sebagai berikut.

1. Menginput data dan menyajikan statistika deskriptif. Menurut Pagano (2013), statistika deskriptif bertujuan untuk mendeskripsikan atau mengkarakterisasi data yang diperoleh.
2. Melakukan standarisasi data karena variabel penelitian memiliki skala atau satuan yang cukup besar. Menurut Harnanto et al. (2017), standarisasi dilakukan dengan mengubah setiap variabel ke dalam bentuk skor standar.



$$Z = \frac{x_{ik} - \bar{x}_k}{S_k} \quad (1)$$

3. Memodelkan data menggunakan analisis regresi linier berganda. Analisis regresi linier berganda merupakan suatu teknik untuk melihat bagaimana pengaruh dua atau lebih variabel independen terhadap satu variabel dependen (Gujarati & Porter, 2009). Secara umum, model regresi linier berganda untuk k variabel independen dapat ditulis sebagai berikut (Montgomery et al., 2006):

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (2)$$

Penggunaan metode *Ordinary Least Square* (OLS) dalam analisis regresi linier berganda menghasilkan model global, objek penelitiannya akan tergeneralisasi ke dalam karakteristik yang sama, di mana nilai koefisien dan variabel independen yang berpengaruh signifikan akan sama untuk semua objek penelitian (Erdkhadifa, 2021). Estimasi parameter model regresi linier berganda ditunjukkan pada Persamaan (3).

$$\hat{\beta} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y} \quad (3)$$

4. Melakukan uji pengaruh spasial yang terdiri dari heterogenitas spasial dan autokorelasi spasial. Menurut Caraka & Yasin (2017), heterogenitas spasial ditunjukkan dengan perbedaan respon dari satu variabel independen di setiap lokasi pengamatan dalam satu wilayah penelitian. Untuk mengidentifikasi heterogenitas spasial digunakan uji *Breusch-Pagan*.

Hipotesis:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_n^2 = \sigma^2$$

$$H_1: \text{ada } \sigma_i^2 \neq \sigma^2, i = 1, 2, \dots, n$$

Statistik uji:

$$BP = \frac{1}{2} \mathbf{f}^T \mathbf{Z} (\mathbf{Z}^T \mathbf{Z})^{-1} \mathbf{Z}^T \mathbf{f} \quad (4)$$

Jika $BP > \chi_{(\alpha, p)}^2$ atau $p\text{-value} < \alpha$ maka H_0 ditolak, disimpulkan bahwa terjadi heterogenitas spasial.

Selanjutnya uji autokorelasi spasial yang mengindikasikan bahwa nilai variabel cenderung lebih mirip di lokasi-lokasi yang berdekatan. Berdasarkan Anselin (1988), terjadinya autokorelasi spasial disebabkan oleh adanya dependensi atau ketergantungan dalam data *cross section*. Autokorelasi spasial dideteksi menggunakan uji *Moran's I* (Lee & Wong, 2001).

Hipotesis:

$$H_0: I = 0$$

$$H_1: I \neq 0$$

Statistik uji:

$$Z_{hitung} = \frac{I - E(I)}{\sqrt{Var(I)}} \quad (5)$$

dimana,



$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, E(I) = -\frac{1}{(n-1)}, Var(I) = \frac{n^2 S_1 - n S_2 + 3 S_0^2}{(n^2 - 1) S_0^2} - [E(I)]^2$$

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}, S_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (w_{ij} + w_{ji})^2, S_2 = \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^n w_{ij} + \sum_{j=1}^n w_{ji})^2$$

Tolak H_0 jika $|Z_{hitung}| > Z_{1-\alpha/2}$ atau $p\text{-value} < \alpha$, maka disimpulkan terjadi autokorelasi spasial.

5. Pemodelan menggunakan GWR. Menurut Fotheringham et al. (2002), model GWR merupakan perluasan dari model regresi linier berganda dan digunakan untuk menganalisis heterogenitas spasial. Secara umum, model GWR didefinisikan sebagai berikut.

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

Dalam pemodelan GWR, pembobot sangat diperlukan untuk menjelaskan letak antar lokasi pengamatan (Mujiarti et al., 2024). Pembobot dihitung menggunakan fungsi kernel. Menurut Fotheringham et al. (2002), fungsi kernel yang dimanfaatkan sebagai fungsi pembobot terdiri dari:

Fixed Gaussian Kernel

$$w_j(u_i, v_i) = \exp\left\{-\frac{1}{2} \left(\frac{d_{ij}}{h}\right)^2\right\} \quad (7)$$

Fixed Bi-square Kernel

$$w_j(u_i, v_i) = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{d_{ij}}{h}\right)^2\right)^2, & \text{untuk } d_{ij} \leq h \\ 0, & \text{untuk } d_{ij} > h \end{cases} \quad (8)$$

Adaptive Gaussian Kernel

$$w_j(u_i, v_i) = \exp\left\{-\frac{1}{2} \left(\frac{d_{ij}}{h_i}\right)^2\right\} \quad (9)$$

Adaptive Bi-square Kernel

$$w_j(u_i, v_i) = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{d_{ij}}{h_i}\right)^2\right)^2, & \text{untuk } d_{ij} \leq h_i \\ 0, & \text{untuk } d_{ij} > h_i \end{cases} \quad (10)$$

Sebelum mendapatkan pembobot, hal pertama yang dilakukan adalah menghitung jarak *euclidean* (Yuni et al., 2025). Jarak *euclidean* digunakan untuk mengukur jarak dari lokasi (u_i, v_i) ke lokasi (u_j, v_j) . Jarak *euclidean* dinotasikan pada Persamaan (11).

$$d_{ij} = \sqrt{(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2} \quad (11)$$

Tahapan selanjutnya adalah penentuan nilai *bandwidth* optimum yang diperoleh menggunakan pendekatan *Cross Validation* (CV) (Fotheringham et al., 2002). *Bandwidth*



(h) optimum adalah nilai h dengan nilai CV minimum. *Cross Validation* dinotasikan sebagai berikut.

$$CV = \sum_{i=1}^n [y_i - \hat{y}_{\neq i}(h)]^2 \quad (12)$$

Dalam model GWR, parameter diestimasi menggunakan metode *Weighted Least Square* (WLS), sehingga diperoleh

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = (\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{y} \quad (13)$$

6. Melakukan pengujian terhadap model GWR dengan menguji kesesuaian model dan uji parameter secara parsial.

Hipotesis uji kesesuaian model (Caraka & Yasin, 2017):

$$H_0: \beta_k(u_i, v_i) = \beta_k, k = 1, 2, \dots, p$$

$$H_1: \text{Paling sedikit ada satu } \beta_k(u_i, v_i) \neq \beta_k$$

Statistik uji yang digunakan:

$$F_{hitung} = \frac{SSE(H_0)/df_1}{SSE(H_1)/df_2} \quad (14)$$

Keterangan:

$$SSE(H_0) = \mathbf{y}^T (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{y} \text{ di mana } \mathbf{H} = \mathbf{X}(\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T, df_1 = n - p - 1, SSE(H_1) = \mathbf{y}^T (\mathbf{I} - \mathbf{S})^T (\mathbf{I} - \mathbf{S}) \mathbf{y}, df_2 = (n - 2tr(\mathbf{S}) + tr(\mathbf{S}^T \mathbf{S}))$$

H_0 ditolak jika $F_{hitung} > F_{\alpha; df_1, df_2}$ atau $p\text{-value} < \alpha$, ini menunjukkan adanya perbedaan antara model regresi linier berganda dengan model GWR.

Kemudian, lakukan uji parameter secara parsial (Caraka & Yasin, 2017).

Hipotesis:

$$H_0: \beta_k(u_i, v_i) = 0$$

$$H_1: \beta_k(u_i, v_i) \neq 0; k = 1, 2, \dots, p$$

Statistik uji:

$$T_{hitung} = \frac{\hat{\beta}_k(u_i, v_i)}{\hat{\sigma} \sqrt{g_{kk}}} \quad (15)$$

g_{kk} adalah elemen diagonal ke- k dari matriks $\mathbf{G}\mathbf{G}^T$.

$$\mathbf{G} = (\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i)$$

H_0 ditolak jika $|T_{hitung}| > t_{\frac{\alpha}{2}; df_2}$ atau $p\text{-value} < \alpha$, ini berarti parameter $\beta_k(u_i, v_i)$ berpengaruh signifikan terhadap model.

7. Pemilihan model terbaik. Menurut Fotheringham et al. (2002), pemilihan model terbaik didasarkan pada kriteria nilai R^2 yang tertinggi dan nilai AIC terendah. Nilai AIC didefinisikan sebagai berikut.

$$AIC = 2n \log_e(\hat{\sigma}) + n \log_e(2\pi) + n \left\{ \frac{n + tr(\mathbf{S})}{n - 2 - tr(\mathbf{S})} \right\} \quad (16)$$

R^2 dapat dituliskan sebagai berikut.



$$R^2 = \frac{SSR}{SST} \quad (17)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Statistika Deskriptif

Deskripsi data disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Statistika Deskriptif

Variabel	Min.	Median	Mean	Maks.
Y	143	3.837	12.248	102.576
X_1	35,50	90,45	85,74	101,30
X_2	10,90	60,25	57,17	81,10
X_3	44	213	286	1.100
X_4	39,40	88,95	86,17	106,60
X_5	43	83,38	82,57	96,42
X_6	4,25	8,43	10,09	26,03
X_7	0	0,50	0,56	1,80
X_8	142	2.184	4.300	25.121

Tabel 1 menunjukkan bahwa variabel penelitian memiliki rentang yang berbeda. Jumlah kasus pneumonia memiliki rentang yang cukup besar dengan rata-rata sebesar 12.248 balita, dimana jumlah kasus pneumonia paling sedikit sejumlah 143 balita, sedangkan jumlah kasus pneumonia paling banyak sejumlah 102.576 balita. Selanjutnya, dilakukan standarisasi data menggunakan Persamaan (1).

Regresi Linier Berganda

Proses estimasi parameter dalam model regresi linier berganda dilakukan berdasarkan Persamaan (3) dan diperoleh model berikut.

$$Y = 7,867 \times 10^{-17} - 0,1899X_1 + 0,1479X_2 + 0,1693X_3 + 0,1799X_4 - 0,1986X_5 - 0,1758X_6 - 0,07949X_7 + 0,6865X_8$$

Tabel 2. Estimasi Parameter menggunakan Metode OLS

Variabel	Estimasi	p -value
Y	$7,867 \times 10^{-17}$	1,0000
X_1	-0,1899	0,3326
X_2	0,1479	0,3404



X_3	0,1693	0,4643
X_4	0,1799	0,0862
X_5	-0,1986	0,1377
X_6	-0,1758	0,1222
X_7	-0,07949	0,5751
X_8	0,6865	0,0069
$R^2 = 0,833$		
$p\text{-value uji F} = 0,000$		

Pada Tabel 2 didapat $p\text{-value} (0,000) < \alpha = 0,1$ untuk uji serentak, sehingga tolak H_0 . Artinya variabel dependen dipengaruhi secara serentak oleh variabel independen. Variabel yang signifikan berdasarkan uji parsial dengan taraf signifikan 0,1 adalah (X_4) dan (X_8).

Uji Pengaruh Spasial

Hasil uji *Breusch-Pagan* menggunakan Persamaan (4) dan hasil uji *Moran's I* menggunakan Persamaan (5) dapat dilihat dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji *Breusch-Pagan* dan *Moran's I*

Pengujian	$p\text{ value}$
<i>Breusch-Pagan</i>	0,08499
<i>Moran's I</i>	0,007291

Berdasarkan Tabel 3, $p\text{-value}$ uji *Breusch-Pagan* sebesar 0,08499. Disimpulkan bahwa H_0 ditolak, berarti pada data jumlah kasus pneumonia di Indonesia tahun 2023 terjadi heterogenitas spasial. Kemudian, $p\text{-value}$ uji *Moran's I* $< \alpha$. Disimpulkan terdapat autokorelasi spasial yang signifikan dalam data jumlah kasus pneumonia di Indonesia tahun 2023.

Model GWR

Langkah pertama adalah menghitung jarak *euclidean* dengan memanfaatkan *longitude* dan *latitude* setiap lokasi pengamatan. Jarak *euclidean* diperoleh menggunakan Persamaan (11). Jarak *euclidean* untuk semua provinsi dapat dilihat dalam Tabel 4.

Tabel 4. Jarak *Euclidean*

Provinsi	Latitude	Longitude	Lokasi ke-			
			1	2	...	34
Aceh	4,225321	96,91272	0	2,958767	...	37,375033
Sumatera Utara	2,188014	99,05834	2,958767	0	...	34,928113



⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Papua Barat	-2,653611	133,64926	37,375033	34,928113	...	0

Selanjutnya, lakukan identifikasi model yang memberikan hasil terbaik menggunakan fungsi kernel dengan performa terbaik berdasarkan ukuran kebaikan model. Hasil perbandingan disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Kinerja Fungsi Kernel

Fungsi Kernel	Ukuran Kebaikan Model	
	AIC	R^2
Adaptif Gaussian	42,85943	84
Adaptif Bi-square	15,66953	94,66
Fixed Gaussian	43,29621	83,63
Fixed Bi-square	28,3193	91,74

Berdasarkan Tabel 5, dapat disimpulkan bahwa fungsi kernel adaptif bi-square memiliki nilai AIC paling rendah dan nilai R^2 yang paling tinggi. Oleh karena itu, untuk membangun model GWR pada data jumlah kasus pneumonia di Indonesia tahun 2023, fungsi kernel adaptif bi-square adalah yang paling tepat.

Kemudian menentukan nilai *bandwidth* optimum menggunakan persamaan (12). Berikut ini nilai *bandwidth* yang diperoleh.

Tabel 6. Bandwidth GWR Setiap Provinsi

Lokasi ke-	<i>Bandwidth</i>	Lokasi ke-	<i>Bandwidth</i>
1	24,62793	18	14,65568
2	22,00828	19	17,65935
3	20,06983	20	11,35898
4	18,95193	21	11,50228
5	17,74758	22	12,57455
6	16,23020	23	13,02906
7	18,05854	24	13,89993
8	15,47227	25	19,34631
9	13,87271	26	16,16488
10	15,80575	27	15,27750
11	14,56478	28	16,63356
12	14,74203	29	17,14852



13	12,34987	30	14,50126
14	12,36579	31	23,98814
15	12,96499	32	22,22980
16	14,65330	33	32,79224
17	13,89406	34	27,94770

Penggunaan fungsi kernel adaptif bi-square sebagai fungsi pembobot mengakibatkan nilai *bandwidth* yang diterapkan pada setiap lokasi pengamatan bervariasi. Jarak *euclidean* dan nilai *bandwidth* dimanfaatkan untuk membentuk matriks pembobot setiap lokasi pengamatan dengan cara mensubstitusikannya ke dalam Persamaan (10). Estimasi parameter model GWR secara deskriptif disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Ringkasan Estimasi Parameter Model GWR

Variabel	Min.	Median	Maks.
Y	-0,454365	-0,150083	-0,029757
X_1	-0,665232	-0,445372	0,147638
X_2	-0,074405	0,528096	1,039356
X_3	-0,050117	0,356770	0,707229
X_4	-0,110081	0,138945	0,410789
X_5	-0,559870	-0,134271	0,098796
X_6	-0,622966	-0,249100	-0,011996
X_7	-0,254335	-0,143980	0,055202
X_8	0,311337	0,554869	0,786214

Uji Kesesuaian Model

Menggunakan Persamaan (14) diperoleh hasil uji kesesuaian model GWR yang disajikan dalam Tabel 8.

Tabel 8. Uji Kesesuaian GWR

Model	SSE	df	F	<i>p value</i>
GWR	1,762902	11, 367	3,1172	0,02452
Regresi Linier Berganda	5,495308	25		

Tabel 9 menunjukkan bahwa H_0 ditolak karena *p-value* < α . Dengan demikian, model regresi global dan model GWR memberikan hasil yang berbeda secara signifikan, terutama dalam menangkap variasi spasial antar lokasi.



Uji Parameter secara Parsial

Uji parameter model GWR diperoleh menggunakan Persamaan (15). Hasil pengujian parameter model GWR menunjukkan bahwa diperoleh 14 kelompok dengan variabel-variabel signifikan yang sama.

Tabel 9. Pengelompokan Provinsi Menurut Variabel Independen yang Berpengaruh Signifikan

Provinsi	Variabel Signifikan
Nusa Tenggara Timur	(X_5)
Kalimantan Timur, Kalimantan Utara, Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Barat	(X_8)
Nusa Tenggara Barat	$(X_5), (X_6)$
Kalimantan Selatan	$(X_5), (X_8)$
Aceh	$(X_1), (X_2), (X_8)$
Bali	$(X_2), (X_5), (X_6)$
Kalimantan Tengah	$(X_2), (X_5), (X_8)$
Sumatera Utara, Sumatera Barat, Riau	$(X_1), (X_2), (X_3), (X_8)$
Jawa Tengah, DI Yogyakarta	$(X_1), (X_2), (X_4), (X_6)$
Jawa Timur	$(X_1), (X_2), (X_5), (X_6)$
Jambi, Sumatera Selatan, Bengkulu, Kep. Riau	$(X_1), (X_2), (X_3), (X_6), (X_8)$
Lampung, Kep. Bangka Belitung, DKI Jakarta, Jawa Barat, Banten	$(X_1), (X_2), (X_3), (X_4), (X_6)$
Kalimantan Barat	$(X_1), (X_2), (X_6), (X_7), (X_8)$
Sulawesi Utara, Gorontalo, Maluku, Maluku Utara, Papua, Papua Barat	-

Berdasarkan Tabel 9, semua variabel independen dalam penelitian ini berpengaruh secara parsial terhadap jumlah kasus pneumonia balita setidaknya di satu provinsi dan kelompok ke-14 tidak dipengaruhi oleh variabel independen yang diteliti. Berikut ini contoh model GWR yang diperoleh untuk Provinsi Aceh.

$$\hat{y}_1 = -0,096567 - 0,544997X_1 + 0,527322X_2 + 0,606932X_8$$



Pemilihan Model Terbaik

Penentuan model terbaik dilakukan dengan mempertimbangkan nilai AIC menggunakan Persamaan (16) dan nilai R^2 menggunakan Persamaan (17). Kriteria yang digunakan adalah model dengan AIC terendah dan nilai R^2 tertinggi.

Tabel 10. Perbandingan Regresi Linier Berganda dengan GWR

Model	AIC	R^2
Regresi Linier Berganda	54,52398	83,35
GWR	15,66953	94,66

Berdasarkan Tabel 10, dibandingkan regresi linier berganda, model GWR menunjukkan kinerja yang lebih baik. Nilai R^2 model GWR sebesar 94,66% berarti bahwa jumlah kasus pneumonia di Indonesia tahun 2023 dapat dijelaskan oleh model sebesar 94,66% dan 5,34% sisanya dipengaruhi oleh variabel yang tidak dilibatkan ke dalam pemodelan pada penelitian ini.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, model GWR dengan menggunakan fungsi kernel adaptif bi-square dalam memodelkan jumlah kasus pneumonia balita di Indonesia tahun 2023 memiliki kinerja yang lebih baik. Model GWR dapat menjelaskan jumlah kasus pneumonia di Indonesia tahun 2023 sebesar 94,66% dan 5,34% sisanya dijelaskan oleh variabel lain yang tidak tercakup dalam analisis. Terdapat 14 pengelompokan provinsi di Indonesia berdasarkan variabel yang signifikan. Variabel yang berpengaruh secara parsial adalah variabel Persentase Balita yang Mendapat Vitamin A (X_1), Persentase Bayi Mendapat ASI Eksklusif sampai 6 Bulan (X_2), Jumlah Puskesmas (X_3), Persentase Bayi yang Mendapat Imunisasi Dasar Lengkap (X_4), Persentase Rumah Tangga yang Memiliki Akses terhadap Sanitasi Layak (X_5), Persentase Penduduk Miskin (X_6), Persentase Kejadian Gizi Buruk pada Balita Usia 0-59 Bulan (X_7), dan Jumlah Bayi Berat Badan Lahir Rendah (BBLR) (X_8).

DAFTAR PUSTAKA

- Afriani, B., & Oktavia, L. (2021). Faktor Risiko Kejadian Pneumonia Pada Bayi. *Babul Ilmi Jurnal Ilmiah Multi Science Kesehatan*, 13(2), 26–38. <https://doi.org/10.36729/bi.v13i2.895>
- Anselin, L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Caraka, R. E., & Yasin, H. (2017). *Geographically Weighted Regression (GWR): Sebuah Pendekatan Regresi Geografis*. Yogyakarta: Mobius.
- Erdkhadifa, R. (2021). Pemodelan Spasial Tingkat Pengangguran Terbuka Di Jawa Timur Dengan Geographically Weighted Regression. *STATISTIKA Journal of Theoretical Statistics and Its Applications*, 21(2), 85–97. <https://doi.org/10.29313/statistika.v21i2.295>



- Fotheringham, A. S., Brunsdon, C., & Charlton, M. (2002). *Geographically Weighted Regression: the analysis of spatial varying relationships*. England: John Wiley & Sons Ltd.
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic Econometrics* (Fifth Edit). New York: McGraw-Hill.
- Harnanto, Y. I., Rusgiyono, A., & Wuryandari, T. (2017). Penerapan Analisis Kluster Metode Ward Terhadap Kabupaten/Kota Di Jawa Tengah Berdasarkan Pengguna Alat Kontrasepsi. *Jurnal Gaussian*, 6(4), 528–537. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/gaussian>
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2024). *Profil Kesehatan Indonesia 2023*. Jakarta: Kemenkes RI
- Kurnia, I. D., Krisnana, I., Putri, E. R., Arief, Y. S., & Rithpho, P. (2023). Analysis of Factors Affecting Pneumonia in Toddlers Based on Theory Epidemiology Triad. *Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences*, 19(May), 1–8.
- Lee, J., & Wong, D. W. S. (2001). *Statistical Analysis with ArcView Gis*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Lutfiani, N., Sugiman, & Mariani, S. (2019). Pemodelan Geographically Weighted Regression (GWR) dengan Fungsi Pembobot Kernel Gaussian dan Bi-square. *UNNES Journal of Mathematics*, 8(1), 82–91. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ujmUJM8>
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2006). *Introduction to Linear Regression Analysis* (Fourth Edi). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Mujiarti, E. M., Yundari, & Huda, N. M. (2024). Pemodelan Geographically Weighted Regression pada Angka Partisipasi Sekolah di Kalimantan Barat Tahun 2022. *Jurnal Gaussian*, 13(1), 36–47. <https://doi.org/10.14710/j.gauss.13.1.36-47>
- Nadya, M., Rahayu, W., & Santi, V. M. (2017). Analisis Geographically Weighted Regression (Gwr) Pada Kasus Pneumonia Balita Di Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Statistika Dan Aplikasinya*, 1(1), 23–32. <https://doi.org/10.21009/jsa.01103>
- Pagano, R. R. (2013). *Understanding Statistics in the Behavioral Sciences* (Tenth Edit). Canada: Cengage Learning.
- Sari, M. P., & Cahyati, W. H. (2019). Tren Pneumonia Balita di Kota Semarang Tahun 2012-2018. *Higeia Journal of Public Health Research and Development*, 3(3), 407–416. <https://doi.org/10.15294/higeia/v3i3/30266>
- Supratiknyo, A. D., & Siwiendrayanti, A. (2024). Pemetaan Distribusi Kejadian Penyakit Pneumonia Pada Balita di Wilayah Kabupaten Magelang. *Higeia Journal of Public Health Research and Development*, 8(3), 356–370. <https://doi.org/https://doi.org/10.15294/higeia/v8i3/7389>
- UNICEF. 2024. *Pneumonia pada anak: Apa yang perlu Anda ketahui*. <https://www.unicef.org/stories/childhood-pneumonia-explained>.
- Yuni, S. M., Saputra, T. M., & Fadhilah, N. N. (2025). The Implementation of Geographically Weighted Regression (GWR) Method on Open Unemployment Rate in Regency/City of Sumatra Island. *Barekeng: Journal of Mathematics and Its Applications*, 19(1), 73–86. <https://doi.org/10.30598/barekengvol19iss1pp73-86>