

Pemodelan *Geographically Weighted Regression* (GWR) pada *Prevalensi Severely Stunting* di Indonesia Tahun 2023

Zamrah Mutmainah¹, Putri Nisrina Az-Zahra², Nabillah Rahmatiah Tangke³, Mauizatun Hasanah²,
Muhammad Akbar Idris⁵, Muhammad Nur Aidi^{6*}

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} *Statistika dan Sains Data, IPB University, Bogor 91412, Indonesia*
Corresponding Email*: muhammadai@apps.ipb.ac.id

Abstrak

Stunting adalah masalah kesehatan dunia yang serius. Sebagai negara berkembang, Indonesia turut berhadapan dengan persoalan *stunting*, dengan angka prevalensi nasionalnya mencapai 20,8% di tahun 2023. *Geographically Weighted Regression* (GWR) digunakan untuk menganalisis faktor-faktor yang bervariasi secara spasial yang memengaruhi prevalensi *stunting* parah di berbagai provinsi di Indonesia. Dengan memanfaatkan data dari Survei Kesehatan Dasar Nasional (RISKESDAS) tahun 2013 dan 2018, penelitian ini mencakup variabel seperti pemberian ASI eksklusif, sanitasi rumah tangga, pernikahan dini, imunisasi, dan status sosial ekonomi. Hasil penelitian menunjukkan adanya heterogenitas spasial yang signifikan, dengan determinan utama seperti pemberian ASI eksklusif (X1), sanitasi yang memadai (X3), dan pernikahan di bawah umur (X6) menunjukkan dampak yang bervariasi di berbagai wilayah. Provinsi di Indonesia bagian timur, seperti Papua dan Maluku, menunjukkan prevalensi *stunting* yang lebih tinggi terkait dengan faktor sosial ekonomi dan lingkungan yang bersifat lokal. Model GWR menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan regresi global, menangkap ketergantungan spasial (Moran's $I = 0.303$, $p < 0,001$) dan menekankan perlunya intervensi yang spesifik untuk setiap wilayah. Rekomendasi kebijakan menekankan perbaikan yang terarah dalam bidang gizi, sanitasi, dan pendidikan untuk mengatasi disparitas dan mencapai target nasional penurunan *stunting* sebesar 14% pada tahun 2024.

Kata Kunci: *Geographically Weighted Regression* (GWR), Heterogenitas Spasial, Kebijakan Kesehatan Masyarakat, Kesehatan Anak, *Stunting*

Abstract

Stunting is a serious global health issue. As a developing country, Indonesia also faces the challenge of *stunting*, with its national prevalence rate reaching 20.8% in 2023. This study employs *Geographically Weighted Regression* (GWR) to analyze spatially varying factors influencing severe *stunting* prevalence across Indonesian provinces. Utilizing data from the 2013 and 2018 National Basic Health Surveys (RISKESDAS), the research incorporates variables such as exclusive breastfeeding, household sanitation, early marriage, immunization, and socioeconomic status. Results reveal significant spatial heterogeneity, with key determinants like exclusive breastfeeding (X1), adequate sanitation (X3), and underage marriage (X6) showing varying impacts across regions. Provinces in eastern Indonesia, such as Papua and Maluku, exhibited higher *stunting* prevalence linked to localized socioeconomic and environmental factors. The GWR model outperformed global regression, capturing spatial dependencies (Moran's $I = 0.303$, $p < 0.001$) and highlighting the need for region-specific interventions. Policy recommendations emphasize targeted improvements in nutrition, sanitation, and education to address disparities and achieve Indonesia's national *stunting* reduction target of 14% by 2024.

Keywords: *Child Health, Geographically Weighted Regression* (GWR), *Public Health Policy, Spatial Heterogeneity, Stunting*

Received :07-03-2025 Revised :21-04-2025 Accepted :30-04-2025 Published :30-04-2025

1. Pendahuluan

Stunting merupakan salah satu masalah kesehatan global yang masih menjadi tantangan besar bagi banyak negara, terutama negara berkembang seperti Indonesia [1]. *Stunting* didefinisikan sebagai kondisi

gagal tumbuh pada anak akibat kekurangan gizi kronis, infeksi berulang, serta kurangnya stimulasi psikososial, yang menyebabkan tinggi badan anak lebih rendah dari standar usianya [2]. *World Health Organization* (WHO) mengkategorikan anak sebagai stunting jika tinggi badan mereka (d disesuaikan dengan usia) lebih rendah dari dua standar deviasi di bawah median kurva pertumbuhan standar WHO. *Stunting* tidak hanya berdampak pada pertumbuhan fisik, tetapi juga mempengaruhi perkembangan kognitif anak, yang berkontribusi pada rendahnya kapasitas belajar dan produktivitas di masa depan, serta meningkatkan risiko penyakit tidak menular [1].

Tingkat *prevalensi stunting* di Indonesia masih berada pada tingkat yang mengkhawatirkan [5]. Berdasarkan Survei Kesehatan Indonesia (SKI), angka *stunting* nasional mencapai 20,8%, yang berarti satu dari lima anak Indonesia mengalami kondisi ini [2]. Jika ditinjau berdasarkan provinsi, masih banyak daerah yang memiliki prevalensi di atas batas yang ditetapkan WHO, yaitu 20%, yang menandakan bahwa *stunting* di Indonesia masih dikategorikan sebagai masalah kesehatan kronis [7]. Bahkan, 14 provinsi di Indonesia memiliki prevalensi yang lebih tinggi dibandingkan angka nasional, sehingga intervensi yang lebih efektif sangat diperlukan [2][8].

Pemerintah Indonesia telah mencanangkan target strategis penurunan prevalensi *stunting* hingga 14% pada tahun 2024 melalui program percepatan perbaikan gizi nasional [11]. Data Survei Status Gizi Indonesia (SSGI) tahun 2022 menunjukkan angka *stunting* nasional mencapai 21,6%, yang berarti diperlukan upaya penurunan sekitar 3,8% setiap tahun untuk mencapai target yang telah ditetapkan [10]. Berbagai kebijakan telah diterapkan, termasuk pemberian makanan tambahan (PMT), program 1.000 Hari Pertama Kehidupan (HPK), peningkatan akses terhadap air bersih dan sanitasi, serta fortifikasi pangan [11]. Namun, efektivitas program ini sangat bergantung pada pemahaman yang lebih mendalam mengenai faktor-faktor penyebab *stunting* di setiap daerah [12].

Faktor-faktor yang berkontribusi terhadap *stunting* sangat kompleks dan bervariasi antarwilayah [1]. Beberapa faktor utama yang telah diidentifikasi dalam berbagai penelitian meliputi status ekonomi keluarga, pendidikan ibu, pemberian ASI eksklusif, serta faktor lingkungan seperti ketersediaan air bersih dan sanitasi [2]. Namun, penelitian-penelitian sebelumnya sering kali menggunakan pendekatan analisis yang bersifat global, yang mengasumsikan bahwa hubungan antara faktor-faktor tersebut bersifat seragam di seluruh wilayah [3]. Padahal, kondisi sosial, ekonomi, dan lingkungan di setiap daerah sangat bervariasi, sehingga pendekatan yang mempertimbangkan perbedaan spasial lebih dibutuhkan [4].

Geographically Weighted Regression (GWR) merupakan salah satu metode analisis spasial yang potensial untuk menjawab permasalahan ini [5]. GWR merupakan metode analisis spasial yang dikembangkan dari model regresi linear konvensional, dengan keunggulan mampu menangkap variasi hubungan spasial antara variabel dependen dan independen di setiap lokasi. [6]. Dengan menggunakan metode ini, analisis dapat memberikan informasi yang lebih kontekstual sesuai dengan kondisi setempat, sehingga hasilnya lebih akurat dibandingkan dengan metode regresi biasa yang mengasumsikan hubungan yang seragam di seluruh daerah [7].

Penerapan GWR dalam penelitian *stunting* sangat penting untuk memahami bagaimana faktor-faktor sosial, ekonomi, dan lingkungan berkontribusi terhadap prevalensi *stunting* di berbagai daerah [8]. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat diidentifikasi wilayah-wilayah dengan tingkat risiko tinggi serta faktor utama yang mempengaruhi *stunting* di masing-masing wilayah, sehingga kebijakan intervensi dapat lebih tepat sasaran [9].

Mempertimbangkan permasalahan tersebut, studi ini bertujuan mengkaji determinan yang memengaruhi angka *stunting* di Indonesia melalui penerapan metode GWR [10]. Dengan mempertimbangkan aspek *spasial* dalam pemodelan, diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan rekomendasi berbasis data yang lebih spesifik bagi pemerintah dalam merancang strategi penurunan *stunting* yang lebih efektif dan sesuai dengan karakteristik masing-masing wilayah [11].

2. Landasan Teori

2.1. Konsep Stunting

Stunting merupakan kondisi pertumbuhan terhambat pada balita yang ditandai dengan postur tubuh pendek, akibat kekurangan gizi yang berlangsung sejak masa kehamilan hingga anak berusia dua tahun. Periode emas merupakan fase krusial yang menentukan kualitas kehidupan anak di masa depan, fase ini terjadi pada 1000 hari pertama kehidupan (1000 HPK) [8].

Height-for-Age Z-score (HAZ) adalah ukuran standar untuk menilai pertumbuhan anak berdasarkan tinggi badan sesuai usia, dengan membandingkan tinggi badan anak terhadap standar pertumbuhan yang ditetapkan oleh *World Health Organization* (WHO). Berikut 3 kategori *stunting* berdasarkan HAZ yang berlaku untuk laki-laki dan Perempuan [6]:

- a. Normal jika $HAZ \geq -2.0$
- b. *Stunting* jika $HAZ < -2.0$
- c. *Saverly Stunting* (sangat *stunting*) jika $HAZ < -0.3$

2.2. Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif digunakan untuk mendapatkan gambaran umum dari data atau cara untuk menyajikan sebuah data mentah sehingga menjadi sebuah informasi yang bermakna. Umumnya analisis deskriptif mencakup nilai dari rata-rata, nilai Tengah, varians, standar deviasi, nilai maksimum dan minimum bergantung dengan tujuan analisis dan informasi yang dibutuhkan. Analisis deskriptif dalam analisis spasial bisa mencakup gambaran dari suatu kondisi yang terjadi berdasarkan lokasi pengamatan, sehingga diperoleh informasi atau karakteristik dari masing-masing lokasi.

2.3. Indeks Moran

Indeks Moran merupakan alat analisis atau metode yang digunakan untuk mengukur autokorelasi spasial dalam mengidentifikasi hubungan spasial suatu wilayah secara keseluruhan. Metode ini dapat diterapkan untuk mendeteksi adanya penyimpangan dari pola distribusi acak, yang selanjutnya dapat mengungkap pola spasial tertentu, seperti kecenderungan pengelompokan atau tren dalam suatu fenomena [7]. Berikut perhitungan untuk mendapatkan nilai indeks moran:

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

Keterangan:

I = Indeks Moran

n = banyaknya Lokasi pengamatan

x_j = nilai pengamatan pada Lokasi ke- j

x_i = nilai pengamatan pada Lokasi ke- i

\bar{x} = nilai pembobotan baris ke- i dan kolom ke- j

Nilai Indeks Moran dengan matriks pembobot spasial terstandarisasi adalah $-1 \leq I \leq 1$. Interpretasi rentang nilai tersebut menunjukkan adanya autokorelasi spasial negatif, positif, dan tidak terdapat autokorelasi. Autokorelasi spasial negatif dikategorikan pada rentang nilai antara -1 sampai 0, sementara nilai dengan rentang 0 sampai 1 menunjukkan autokorelasi spasial positif. Jika nilai indek moranya sama dengan 0, maka tidak terdapat autokorelasi spasial dalam distribusi wilayah tersebut.

2.4. Moran's Scatterplot

Moran's *Scatterplot* menurut Anselin [5] digunakan untuk menginterpretasikan Indeks Moran dengan

memvisualisasikan hubungan antara nilai amatan terstandarisasi di suatu lokasi dan rata-rata nilai amatan dari wilayah sekitarnya. Grafik ini mempermudah identifikasi pola keterkaitan spasial dengan menunjukkan hubungan antara nilai pengamatan dan rata-rata lokal yang telah distandarisasi. Berikut pembagian kuadran dengan menggunakan Moran's *scatterplot* yang dapat mempermudah pengelompokan wilayah:

- a. Kuadran I (*High-High*), menggambarkan area dengan nilai pengamatan tinggi, di antara area lain yang memiliki nilai pengamatan tinggi.
- b. Kuadran II (*Low-High*), merepresentasikan area yang memiliki nilai pengamatan rendah, dikelilingi oleh area dengan nilai pengamatan tinggi.
- c. Kuadran III (*Low-Low*), menunjukkan area dengan nilai pengamatan rendah yang dikelilingi dengan area lain yang memiliki nilai serupa.
- d. Kuadran IV (*High-Low*), memperlihatkan area dengan nilai pengamatan tinggi yang dikelilingi oleh area dengan nilai pengamatan rendah.

2.5. Regresi Linier Berganda

Analisis regresi adalah teknik statistik yang memodelkan hubungan fungsional antara satu atau beberapa variabel bebas dengan variabel terikat, dengan tujuan melakukan estimasi atau prediksi nilai variabel terikat berdasarkan nilai variabel bebas yang telah diketahui [9]. Model umum regresi linier adalah sebagai berikut:

$$y_i = \beta_0 + \sum_{k=1}^p \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i$$

Keterangan:

$i = 1, 2, \dots, n$ dengan n merupakan jumlah pengamatan

$k = 1, 2, \dots, p$ dimana p merupakan jumlah variabel independen

y_i = nilai pengamatan ke- i pada variabel dependen

x_{ik} = nilai pengamatan ke- i pada variabel independen ke- k

β_0 = nilai intersep model regresi

β_k = koefisien regresi pada variabel independen ke- k

2.6. Geographically Weighted Regression (GWR)

Geographically Weighted Regression (GWR) merupakan metode analisis data dengan karakteristik spasial yang merupakan pengembangan dari regresi linier berganda. Metode ini menerapkan pembobot berbeda pada setiap lokasi pengamatan. Model GWR menghasilkan estimasi parameter regresi yang bersifat lokal pada setiap Lokasi dan memprediksi variabel dependen berdasarkan variabel independent, dimana koefisien regresinya bervariasi sesuai dengan lokasi pengamatan [10]. Bentuk umum dari model GWR sebagai berikut:

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

Keterangan:

$i = 1, 2, \dots, n$

y_i = Lokasi ke- i pada variabel dependen

x_{ik} = Lokasi ke- i pada variabel predictor ke- k

(u_i, v_i) = koordinat lintang bujur pada Lokasi ke- i

$\beta_k(u_i, v_i)$ = Parameter atau koefisien regresi ke- k

$\beta_0(u_i, v_i)$ = Konstanta GWR

ε_i = *error* pengamatan ke- i

Bandwidth didefinisikan sebagai jendela atau jarak dari titik pusat lokasi yang digunakan sebagai acuan dalam menentukan bobot pada setiap wilayah dalam model regresi. Jika suatu pengamatan berada dalam radius tersebut, maka lokasi tersebut masih dianggap memiliki pengaruh terhadap model dan dapat diberikan bobot. Untuk mengurangi heterogenitas dalam varians, nilai *bandwidth* yang digunakan haruslah optimal. Menurut Fotheringham dkk metode yang dapat digunakan dalam menentukan *Bandwidth* optimum yaitu metode Cross Validation (CV) [3]. Persamaan CV secara matematis sebagai berikut:

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

dengan $\hat{y}_{\neq 1}(h)$ adalah nilai penaksiran y_t dimana Lokasi pengamatan (u_i, v_i) dihilangkan dari proses estimasi untuk mendapatkan jarak optimal, sehingga mendapatkan CV minimum. Analisis data dengan karakteristik spasial dalam perhitungannya membutuhkan pembobotan. Hubungan antara lokasi (*neighboring*) direpresentasikan dalam bentuk matriks pembobot yang dinotasikan dengan W_{ij} . Salah satu kernel pembobot yang digunakan yaitu fungsi *kernel adaptive gaussian*.

$$W_{ij}(u_j, v_i) = \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{d_{ij}}{h_j} \right)^2 \right]$$

pembobot fungsi *kernel adaptive gaussian* menggunakan fungsi *kernel gaussian* yang ditentukan secara adaptif berdasarkan jarak antar titik data dalam memperoleh nilai *bandwidth*.

3. Metode

Penelitian ini adalah jenis penelitian kuantitatif yang datanya berasal dari RISKESDAS 2013 dan 2018 yang terdiri dari tinggi badan anak usia 0-18 tahun, jenis kelamin, umur, tinggi badan ibu, tinggi badan ayah, provinsi serta kota/desa, data tambahan berupa variabel faktor-faktor yang mempengaruhi *stunting*, dan data letak geografis yaitu garis lintang (*latitude*) dan garis bujur (*longitude*) setiap provinsi di Indonesia. Analisis data menggunakan *Microsoft Excel* dan *Software R Studio*. Berikut variabel dan definisi variabel yang digunakan:

Tabel 1. Variabel data RISKESDAS 2013 dan 2018

Variabel	Keterangan
Y	Prevalensi <i>Severely Stunting</i> berdasarkan gizi buruk
X ₁	Persentase Pemberian ASI Eksklusif
X ₂	Proporsi rumah layak huni berdasarkan air minum layak
X ₃	Proporsi rumah layak huni berdasarkan sanitasi layak
X ₄	Prevalensi Diare pada balita
X ₅	Proporsi Imunisasi Dasar Lengkap Pada Anak Umur 12-23 Bulan
X ₆	Proporsi Perempuan Pernah Kawin Dibawah Umur
X ₇	Prevalensi Kurang Energi Kronis pada perempuan hamil menurut Provinsi
X ₈	Sebaran Status ekonomi menengah kebawah
X ₉	Prevalensi ISPA pada balita
X ₁₀	Persentase Penduduk yang tamat SMA

Tahapan-tahapan dari analisis data:

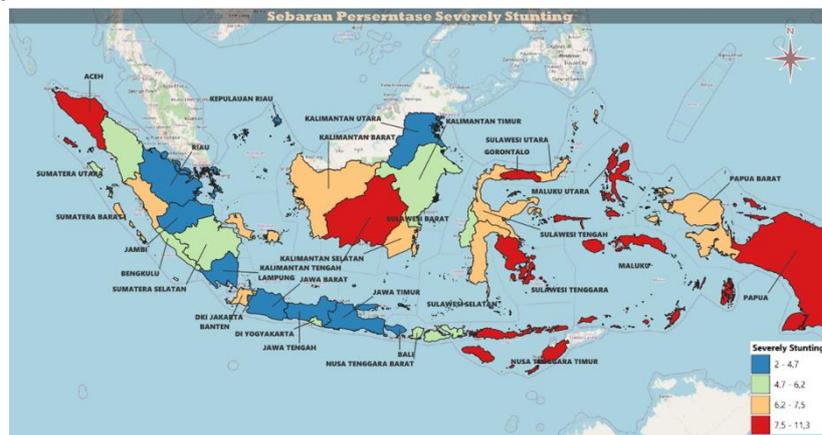
1. Analisis data secara deskriptif terhadap Prevalensi *Severely Stunting*

2. Analisis menggunakan metode GWR

- a. Melakukan analisis regresi berganda
 - Melakukan pengecekan multikolinearitas.
 - Pemodelan regresi linier berganda.
 - Uji asumsi.
- b. Uji aspek data spasial
 - Heterogenitas spasial dengan uji *Breusch-Pagan*.
 - Dependensi spasial dengan Uji Indeks Moran.
- c. Pemodelan GWR
 - Menentukan koordinat garis lintang (*Latitude*) dan letak garis bujur (*longitude*) setiap provinsi di Indonesia.
 - Menentukan *Bandwith* optimal.
 - Menentukan bobot spasial menggunakan fungsi kernel *Adaptive Gaussian*.
 - Estimasi parameter model GWR untuk setiap provinsi.
 - Uji kesesuaian model.
 - Uji signifikansi parameter pada model GWR.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Analisis Deskriptif



Gambar 1. Peta sebaran *severely stunting* provinsi di Indonesia

Peta sebaran *Severely Stunting* pada setiap provinsi di Indonesia menunjukkan variasi tingkat prevalensi stunting parah di berbagai wilayah. Wilayah dengan prevalensi *Severely Stunting* terendah meliputi provinsi DKI Jakarta, DI Yogyakarta, Banten, Sumatera Selatan, Lampung, dan Nusa Tenggara Barat. *Prevalensi* yang masih relatif rendah tetapi lebih tinggi terlihat pada provinsi seperti Jambi, Kalimantan Selatan, dan Kalimantan Tengah. Sementara itu, terdapat peningkatan *prevalensi severely stunting* pada provinsi Sumatera Barat, Papua Barat, dan Sulawesi Tengah. Provinsi dengan *prevalensi severely stunting* tertinggi meliputi Aceh, Sulawesi Barat, Maluku, Maluku Utara, Nusa Tenggara Timur, dan Papua.

Secara keseluruhan, peta ini memperlihatkan bahwa wilayah timur Indonesia menghadapi masalah *severely stunting* yang lebih serius. Di sisi lain, daerah di sekitar Jawa, Sumatera Selatan, dan beberapa provinsi di Kalimantan menunjukkan tingkat *severely stunting* yang lebih rendah. Hal ini mencerminkan adanya disparitas dalam akses terhadap gizi, layanan kesehatan, dan kondisi sosial ekonomi di berbagai daerah di Indonesia, yang perlu menjadi perhatian dalam upaya penanganan *stunting* di tingkat nasional.

4.2 Pemodelan Regresi Linier Berganda

Pemodelan regresi linier berganda digunakan untuk mengidentifikasi arah hubungan kausal antara variabel independen dengan variabel dependen. Estimasi parameter dilakukan dengan metode *Ordinary Least Square (OLS)* untuk memperoleh nilai koefisien serta menguji signifikansi global masing-masing variabel terhadap prevalensi stunting.

Tabel 2. Variabel VIF untuk memeriksa multikolinearitas

Estimasi Parameter	Nilai Estimasi	t hitung	Nilai Signifikansi
$\hat{\beta}_0$	95,889	3,638	0,001*
$\hat{\beta}_1$	-0,080	-2,094	0,047*
$\hat{\beta}_2$	-0,053	-0,574	0,571
$\hat{\beta}_3$	-0,162	-2,391	0,025*
$\hat{\beta}_4$	-0,200	-0,802	0,430
$\hat{\beta}_5$	-0,023	-0,919	0,367
$\hat{\beta}_6$	-0,636	-2,465	0,021*
$\hat{\beta}_7$	-0,028	-0,453	0,654
$\hat{\beta}_8$	-0,034	-0,485	0,632
$\hat{\beta}_9$	0,163	1,011	0,322
$\hat{\beta}_{10}$	-0,106	-1,655	0,111

Berdasarkan hasil pengujian serentak dengan uji F, terdapat pengaruh secara simultan pada seluruh variabel independen terhadap prevalensi *stunting* di Indonesia pada tingkat signifikansi 10%. Secara parsial, terdapat tiga variabel yang signifikan terhadap prevalensi *stunting* di Indonesia yaitu Persentase Pemberian ASI Eksklusif (X_1), Proporsi rumah layak huni berdasarkan sanitasi layak (X_3), dan Proporsi Perempuan Pernah Kawin Dibawah Umur (X_6).

4.3 Asumsi Residual

Pengujian asumsi residual dilakukan sebagai validitas statistik untuk memastikan bahwa model regresi yang diperoleh sudah tepat. Tiga aspek utama yang diuji dalam analisis ini adalah autokorelasi, heteroskedastisitas, dan normalitas residual.

Hasil uji Durbin-Watson diperoleh p-value 0.056 dengan nilai DW sebesar 1.481. Dengan tingkat signifikansi $\alpha = 0.1$ sehingga tidak ada cukup bukti untuk menyimpulkan adanya autokorelasi dalam residual. Pada *studentized Breusch-Pagan test*, diperoleh p-value 0.060 dan nilai BP sebesar 17.708. Maka, dapat disimpulkan bahwa terdapat indikasi heteroskedastisitas dalam residual model. Selanjutnya akan dilakukan analisis pengecekan aspek spasial untuk melihat apakah terdapat pola geografis yang memengaruhi varians pada residual. Hasil Kolmogorov-Smirnov *test* menunjukkan p-value 0.9727 yang jauh lebih besar dari 0.1 sehingga memenuhi asumsi residual berdistribusi normal.

Nilai VIF digunakan untuk pemeriksaan multikolinearitas antar variabel independen. Multikolinearitas, atau keterkaitan antar variabel independen, terindikasi apabila nilai VIF melebihi 10. Hasil pemeriksaan pada seluruh variabel memiliki nilai VIF dibawah 10, sehingga dapat disimpulkan tidak terdapat multikolinearitas antar variabel independen.

Tabel 2. Variabel VIF untuk memeriksa multikolinearitas

Variabel	VIF
X_1	1,195
X_2	1,487
X_3	1,489
X_4	1,406
X_5	1,708
X_6	1,096
X_7	1,390
X_8	1,528
X_9	1,748
X_{10}	2,035

4.4 Pengujian Aspek Spasial

Analisis lebih lanjut dilakukan untuk mengevaluasi apakah terdapat keterkaitan spasial dalam data. Pengujian aspek spasial ini bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat pola geografis yang memengaruhi varians pada residual.

Tabel 3. Pengujian aspek spasial

Pengujian	Nilai	<i>p-value</i>
<i>Breusch-Pagan</i>	17,708	0,060
<i>Moran's I</i>	0,303	0,000

Setelah ditemukan adanya heteroskedastisitas dalam residual model berdasarkan *studentized Breusch-Pagan test* dengan *p-value* 0.060, nilai Moran I *statistic* sebesar 0.303 menunjukkan bahwa terdapat autokorelasi spasial positif yang signifikan sehingga residual dalam lokasi yang berdekatan cenderung memiliki pola yang serupa. Dengan kata lain, model regresi yang digunakan saat ini belum sepenuhnya menangkap pola spasial dalam data. Sehingga analisis dilanjutkan dengan tahap pemodelan menggunakan metode *Geographically Weighted Regression (GWR)*.

4.5 Pemodelan GWR

Pemodelan menggunakan metode GWR akan memungkinkan koefisien regresi bervariasi berdasarkan lokasi geografis, sehingga model ini diharapkan dapat menangkap pola spasial yang tidak dapat dijelaskan oleh model regresi global. Sebelum melakukan analisis model GWR, diperlukan informasi jarak *euclidean* antar lokasi pengamatan berdasarkan garis lintang dan bujur. Nilai jarak *euclidean* dimanfaatkan dalam penentuan *bandwidth* optimal dengan kriteria *Cross-Validation (CV)* minimum. Selanjutnya, jarak *euclidean* dan *bandwidth* tersebut digunakan untuk membentuk matriks pembobot spasial di setiap lokasi pengamatan. Pada analisis ini, digunakan *fixed Gaussian kernel*, yaitu *bandwidth* dapat berbeda-beda pada setiap lokasi pengamatan. Proses pencarian *bandwidth* optimal menghasilkan nilai adaptif sebesar 0.441 dengan nilai CV sebesar 142.353 yang menunjukkan bahwa sekitar 44.1% dari total titik data terdekat digunakan dalam setiap estimasi lokal. Nilai CV *score* yang paling minimum ini mengindikasikan bahwa model GWR yang dihasilkan memiliki performa prediksi yang paling baik dibandingkan dengan *bandwidth* lainnya.

Model GWR yang telah dibangun menggunakan nilai *bandwidth* optimal menghasilkan persamaan model yang berbeda-beda di setiap Provinsi di Indonesia. Berikut merupakan salah satu model yang terbentuk untuk Provinsi Papua.

Tabel 4. Variabel model GWR

Parameter	Nilai Koefisien	t hitung	<i>p-value</i>
$\hat{\beta}_0$	88,708	4,220	0,000*
$\hat{\beta}_1$	-0,099	-3,267	0,003*
$\hat{\beta}_2$	-0,049	-0,670	0,508
$\hat{\beta}_3$	-0,199	-3,666	0,001*
$\hat{\beta}_4$	-0,277	-1,383	0,179
$\hat{\beta}_5$	-0,022	-1,097	0,283
$\hat{\beta}_6$	-0,517	-2,502	0,019*
$\hat{\beta}_7$	-0,032	-0,653	0,519
$\hat{\beta}_8$	0,002	0,043	0,965
$\hat{\beta}_9$	0,169	1,324	0,197

$\hat{\beta}_{10}$	-0,108	-2,047	0,051
--------------------	--------	--------	-------

Hasil pemodelan GWR di Provinsi Papua menunjukkan bahwa *prevalensi severely stunting* akibat gizi buruk dipengaruhi secara signifikan oleh beberapa faktor. Peningkatan persentase pemberian ASI eksklusif dan akses sanitasi layak berhubungan dengan penurunan prevalensi *stunting*. Sementara itu, proporsi perempuan yang pernah menikah di bawah umur juga memiliki pengaruh signifikan, meskipun hubungan ini bisa lebih kompleks dalam konteks sosial Papua. Di sisi lain, variabel seperti prevalensi diare, imunisasi dasar lengkap, dan prevalensi ISPA tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan dalam model ini. Secara keseluruhan, hasil ini mengindikasikan bahwa kebijakan yang mendorong peningkatan ASI eksklusif, akses sanitasi layak, serta pemahaman lebih lanjut tentang dampak pernikahan usia dini dapat berperan penting dalam mengurangi *severely stunting* di Papua.

4.6 Estimasi Parameter Model

Estimasi parameter diperoleh pada setiap variabel independen untuk setiap wilayah provinsi di Indonesia.

Tabel 5. Estimasi variabel model GWR

Estimasi Parameter	Minimum	Median	Maximum
$\hat{\beta}_0$	65,448	95,027	128,916
$\hat{\beta}_1$	-0,107	-0,046	0,005
$\hat{\beta}_2$	-0,141	-0,057	-0,034
$\hat{\beta}_3$	-0,212	-0,125	-0,093
$\hat{\beta}_4$	-0,287	-0,130	0,048
$\hat{\beta}_5$	-0,041	-0,029	-0,022
$\hat{\beta}_6$	-1,053	-0,694	-0,323
$\hat{\beta}_7$	-0,032	0,001	0,043
$\hat{\beta}_8$	-0,117	-0,07	0,015
$\hat{\beta}_9$	-0,008	0,141	0,279
$\hat{\beta}_{10}$	-0,108	-0,067	-0,041

Beberapa variabel menunjukkan hubungan negatif yang konsisten dengan *prevalensi severely stunting*, seperti persentase pemberian ASI eksklusif, proporsi rumah layak huni berdasarkan air minum layak, proporsi rumah layak huni berdasarkan sanitasi layak, dan proporsi imunisasi dasar lengkap pada anak umur 12-23 bulan. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan pada variabel-variabel tersebut cenderung menurunkan prevalensi *stunting* parah.

Sebaliknya, prevalensi diare pada balita dan *prevalensi* kurang energi kronis pada perempuan hamil memiliki dampak yang lebih kompleks dengan beberapa daerah menunjukkan hubungan negatif dan positif. Sebaran status ekonomi menengah ke bawah menunjukkan pengaruh yang hampir netral, tetapi tetap ada daerah dengan pengaruh positif atau negatif. Sementara itu, persentase penduduk yang tamat SMA menunjukkan bahwa pendidikan yang lebih tinggi cenderung berperan dalam menurunkan *prevalensi severely stunting*. Variabel proporsi perempuan pernah kawin di bawah umur dan prevalensi ISPA pada balita tidak memiliki estimasi parameter dalam model ini.

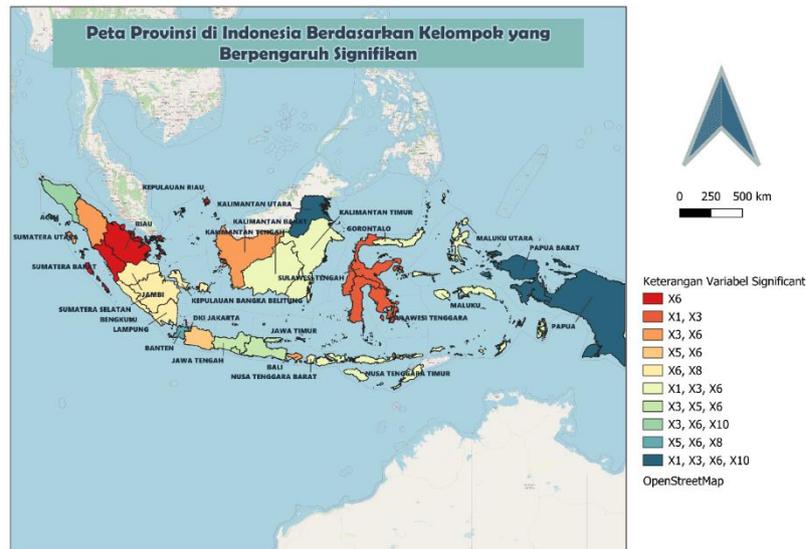
4.7 Pengujian Kesesuaian Model

Pengujian kesesuaian model dilakukan untuk menilai apakah terdapat perbedaan signifikan antara model regresi linier berganda dengan model GWR. Tidak ditemukan perbedaan signifikan antara model regresi linier berganda dan model GWR pada tingkat signifikansi 10%, ditunjukkan dengan nilai *p-value* sebesar 0,060. Oleh karena itu, model GWR menghasilkan perbedaan yang signifikan dibandingkan model regresi linier berganda, menunjukkan bahwa model GWR mampu menangkap variasi spasial dalam data.

Tabel 6. Model GWR

Model	SSE	F hitung	p-value
OLS	64,239	2,187	0,060
GWR	29,375		

4.8 Penggerombolan Variabel Signifikan



Gambar 2. Peta prevalensi severely stunting provinsi di Indonesia

Peta ini menunjukkan provinsi-provinsi di Indonesia berdasarkan gerombolan variabel yang berpengaruh signifikan terhadap *prevalensi severely stunting*. Warna yang berbeda merepresentasikan kombinasi variabel yang memiliki dampak signifikan di masing-masing provinsi.

Variabel Y dalam analisis ini adalah **Prevalensi Severely Stunting berdasarkan gizi buruk**, yang menunjukkan tingkat kejadian selatan anak-anak yang mengalami *stunting* berat akibat kekurangan gizi kronis. Variabel independen ($X1$ hingga $X10$) mencerminkan berbagai faktor yang dapat mempengaruhi tingkat *stunting* berat di suatu wilayah. Berikut adalah penjelasan mendetail mengenai masing-masing variabel independen dan hubungannya dengan Y :

1. Variabel Independen dan Hubungannya dengan Prevalensi Severely Stunting

$X1$: Persentase Pemberian ASI Eksklusif

- ASI eksklusif dalam enam bulan pertama kehidupan berperan penting dalam mencegah *stunting* dengan memastikan bayi mendapatkan nutrisi optimal.
- Jika persentase pemberian ASI eksklusif tinggi, maka risiko *stunting* dapat menurun karena bayi memperoleh nutrisi yang cukup dan memiliki sistem imun yang lebih baik.

$X2$: Proporsi Rumah Layak Huni Berdasarkan Air Minum Layak

- Air minum layak berkaitan dengan kesehatan anak. Jika air minum tercemar, anak lebih rentan terhadap infeksi saluran pencernaan seperti diare, yang dapat menyebabkan malnutrisi dan *stunting*.
- Ketersediaan air minum layak dapat menurunkan angka kejadian penyakit yang menghambat pertumbuhan anak.

$X3$: Proporsi Rumah Layak Huni Berdasarkan Sanitasi Layak

- Sanitasi yang buruk berkontribusi terhadap penyakit infeksi seperti diare dan cacingan, yang dapat menyebabkan kurangnya penyerapan nutrisi dan meningkatkan prevalensi *stunting*.
- Jika lebih banyak rumah memiliki akses ke sanitasi layak, maka anak-anak lebih terlindungi dari penyakit infeksi dan risiko *stunting* berkurang.

$X4$: Prevalensi Diare pada Balita

- Diare yang sering terjadi pada balita dapat menyebabkan kehilangan nutrisi yang signifikan, memperparah kondisi gizi buruk, dan meningkatkan risiko *stunting*.

- Semakin tinggi prevalensi diare, semakin besar kemungkinan anak-anak mengalami *stunting*.

X₅: Proporsi Imunisasi Dasar Lengkap pada Anak Umur 12-23 Bulan

- Imunisasi melindungi anak dari berbagai penyakit menular yang dapat menyebabkan gangguan pertumbuhan.
- Anak-anak yang menerima imunisasi lengkap memiliki sistem kekebalan tubuh yang lebih baik dan lebih sedikit mengalami gangguan kesehatan yang berkontribusi pada *stunting*.

X₆: Proporsi Perempuan Pernah Kawin di Bawah Umur

- Perkawinan anak berisiko meningkatkan angka kelahiran bayi dengan berat badan lahir rendah (BBLR) dan masalah gizi, yang berujung pada meningkatnya *stunting*.
- Perempuan yang menikah pada usia muda cenderung memiliki tingkat pendidikan yang lebih rendah, kurang pengetahuan tentang pola asuh dan gizi anak, serta akses yang terbatas ke layanan kesehatan.

X₇: Prevalensi Kurang Energi Kronis pada Perempuan Hamil menurut Provinsi

- Ibu yang mengalami *Kurang Energi Kronis* (KEK) saat hamil berisiko melahirkan bayi dengan berat badan lahir rendah dan gizi buruk, yang meningkatkan kemungkinan *stunting*.
- KEK pada ibu hamil dapat terjadi akibat kekurangan asupan gizi dan pola makan yang tidak seimbang.

X₈: Sebaran Status Ekonomi Menengah ke Bawah

- Keluarga dari kelompok ekonomi menengah ke bawah memiliki keterbatasan dalam akses makanan bergizi, layanan kesehatan, dan pendidikan.
- Kemiskinan sering kali dikaitkan dengan tingginya angka *stunting* karena keterbatasan dalam memenuhi kebutuhan dasar anak.

X₉: Prevalensi ISPA pada Balita

- Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) pada balita dapat menyebabkan gangguan pertumbuhan karena tubuh harus menggunakan energi lebih banyak untuk melawan infeksi.
- Anak yang sering mengalami ISPA berisiko mengalami defisiensi gizi, yang dapat memperburuk kondisi *stunting*.

X₁₀: Persentase Penduduk yang Tamat SMA

- Pendidikan yang lebih tinggi berhubungan dengan peningkatan kesadaran akan pentingnya gizi, pola makan yang sehat, sanitasi, dan layanan kesehatan.
- Semakin banyak penduduk yang tamat SMA, semakin tinggi kesadaran akan pentingnya pencegahan *stunting*, sehingga risiko *stunting* dapat menurun.

2. Pengaruh Faktor-faktor terhadap *Stunting* di Berbagai Provinsi

Berdasarkan analisis, beberapa faktor memiliki pengaruh lebih dominan di masing-masing provinsi:

1. Sumatera Barat, Riau
 - Dipengaruhi oleh X₆ (Perempuan Pernah Kawin di Bawah Umur)
 - Perkawinan anak berperan besar dalam meningkatkan angka *stunting* di kedua provinsi ini.
2. Sulawesi Tengah, Gorontalo, Sulawesi Tenggara
 - Dipengaruhi oleh X₁ (ASI Eksklusif) dan X₃ (Sanitasi Layak)
 - Ketersediaan ASI eksklusif yang rendah dan sanitasi yang buruk berkontribusi terhadap tingginya angka *stunting* di daerah ini.
3. Sumatera Utara, Kalimantan Barat
 - Dipengaruhi oleh X₃ (Sanitasi Layak) dan X₆ (Perempuan Pernah Kawin di Bawah Umur)
 - Sanitasi yang tidak layak dan tingginya angka perkawinan anak meningkatkan risiko *stunting*.
4. Jambi, Jawa Barat, Bali
 - Dipengaruhi oleh X₅ (Imunisasi) dan X₆ (Perempuan Pernah Kawin di Bawah Umur)
 - Kekurangan imunisasi dan perkawinan anak meningkatkan risiko *stunting* pada anak-anak.
5. Sulawesi, Lampung, Bengkulu, Kalimantan Tengah, Kalimantan Timur, Kalimantan Selatan, NTT, NTB, Maluku, Maluku Utara
 - Dipengaruhi oleh X₁ (ASI Eksklusif), X₆ (Perempuan Pernah Kawin di Bawah Umur), X₁₀ (Pendidikan Tamat SMA)

- Rendahnya pendidikan, tingginya perkawinan anak, dan rendahnya angka ASI eksklusif menjadi faktor utama penyebab *stunting*.
- 6. Jawa Tengah, Jawa Timur, Yogyakarta
 - Dipengaruhi oleh X_3 (Sanitasi), X_5 (Imunisasi), X_6 (Perempuan Pernah Kawin di Bawah Umur)
 - Sanitasi yang buruk dan perkawinan anak memperparah risiko *stunting* meskipun imunisasi dapat membantu mengurangnya.
- 7. Aceh
 - Dipengaruhi oleh X_3 (Sanitasi), X_6 (Perempuan Pernah Kawin di Bawah Umur), X_{10} (Pendidikan Tamat SMA)
 - Kurangnya sanitasi, tingginya perkawinan anak, dan rendahnya tingkat pendidikan menjadi penyebab utama *stunting* di Aceh.
- 8. Banten
 - Dipengaruhi oleh X_6 (Perempuan Pernah Kawin di Bawah Umur), X_5 (Imunisasi), X_8 (Status Ekonomi Menengah ke Bawah)
 - Faktor ekonomi yang rendah, imunisasi yang tidak merata, dan tingginya angka perkawinan anak menjadi penyebab utama.
- 9. Kalimantan Timur, Papua Barat, Papua
 - Dipengaruhi oleh X_1 (ASI Eksklusif), X_3 (Sanitasi), X_6 (Perempuan Pernah Kawin di Bawah Umur), X_{10} (Pendidikan Tamat SMA)
 - Akses ASI yang rendah, sanitasi yang buruk, perkawinan anak, dan rendahnya pendidikan berkontribusi terhadap *stunting*.

5. Kesimpulan

Penelitian ini menerapkan metode *Geographically Weighted Regression* (GWR) untuk menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi *prevalensi stunting* di berbagai provinsi di Indonesia pada tahun 2023. Hasil penelitian menunjukkan adanya heterogenitas spasial yang signifikan dalam hubungan antara variabel independen dan *prevalensi severely stunting* di tiap wilayah. Tiga faktor utama yang berpengaruh secara signifikan terhadap *prevalensi stunting* adalah persentase pemberian ASI eksklusif, proporsi rumah dengan sanitasi layak, dan proporsi perempuan yang menikah di bawah umur. Semakin tinggi angka pemberian ASI eksklusif dan akses sanitasi yang layak, semakin rendah *prevalensi stunting*. Sebaliknya, pernikahan dini memiliki dampak negatif terhadap angka *stunting*, terutama di wilayah dengan tingkat sosial ekonomi rendah.

Model GWR menunjukkan performa lebih baik dibandingkan dengan model regresi global, dengan Moran's I sebesar 0.303 ($p < 0.001$) yang mengindikasikan adanya autokorelasi spasial positif. Hal ini berarti faktor-faktor penentu *stunting* tidak merata secara nasional, melainkan dipengaruhi oleh kondisi lokal masing-masing provinsi. Provinsi di bagian timur Indonesia, seperti Papua dan Maluku, memiliki tingkat *prevalensi stunting* yang lebih tinggi dibandingkan wilayah lain, diduga akibat keterbatasan akses terhadap fasilitas kesehatan, faktor ekonomi, serta kondisi lingkungan. Sebab itu, diperlukan intervensi spesifik per wilayah dalam upaya penurunan angka *stunting* di Indonesia.

Referensi

- [1] WHO, "Stunting in a Nutshell," 2015. [Online]. Available: <https://www.who.int/news/item/19-11-2015-stunting-in-a-nutshell>
- [2] Kementerian Kesehatan RI, "Survei Kesehatan Indonesia 2023," 2023.
- [3] Fotheringham, A. S., Brunson, C., & Charlton, M., "Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships," John Wiley & Sons, 2002.
- [4] Wicaksono, A. D., et al., "Geographically Weighted Regression untuk Analisis Faktor Stunting di Indonesia," 2022.
- [5] Anselin, L., "Exploratory Spatial Data Analysis and Geographic Information System," National Center for Geographic Information and Analysis, 1993.
- [6] WHO, "WHO Child Growth Standards," 2006.

- [7] Hadisti, Z. D., Hayati, M. N., & Fauziyah, M., "Analisis Spasial Persebaran Jumlah Kasus Malaria di Kalimantan Timur," Eksponensial, 2024.
- [8] Hidayah, N., & Marwan, M., "Upaya Pemberdayaan Masyarakat Dalam Menciptakan Generasi Milenial Sadar Gizi," 2020.
- [9] Hurint, H. S., Purnamasari, I., & Hayati, M. N., "Metode Regresi Robust Dengan Estimasi Method of Moment," 2016.
- [10] Siti Hartina Daulay & Elmanani Simamora, "Pemodelan Faktor-Faktor Penyebab Kemiskinan Menggunakan GWR," 2023.
- [11] Kementerian Koordinator Bidang Pembangunan Manusia dan Kebudayaan RI, "Pemerintah Optimis Target Penurunan Stunting 14% Tercapai di 2024," 2023.
- [12] Kementerian Kesehatan RI, "1 dari 3 Balita Indonesia Derita Stunting," 2023.



© **The Author(s) 2025.** This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License. Editorial of Journal of Mathematics: Theory and Applications, Department of Mathematics, Universitas Sulawesi Barat, Jalan Prof. Dr. Baharuddin Lopa, S.H., Talumung, Majene 91412, Sulawesi Barat.