

Pemodelan Kasus Tuberkulosis Berdasarkan Faktor Lingkungan Menggunakan Metode *Geographically and Temporally Weighted Regression*

Randa Trezenki dkk.



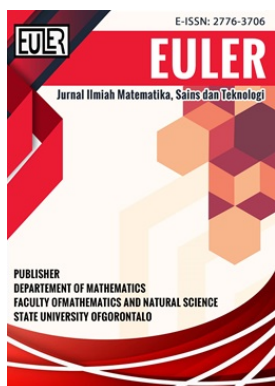
Volume 13, Issue 3, Pages 394–402, Dec. 2025













Diterima 30 September 2025, Direvisi 19 November 2025, Disetujui 27 November 2025, Diterbitkan 2 Desember 2025

To Cite this Article : R. Trezenki dkk., “Pemodelan Kasus Tuberkulosis Berdasarkan Faktor Lingkungan Menggunakan Metode *Geographically and Temporally Weighted Regression*”, *Euler J. Ilm. Mat. Sains dan Teknol.*, vol. 13, no. 3, pp. 394–402, 2025, <https://doi.org/10.37905/euler.v13i3.34645>

© 2025 by author(s)

JOURNAL INFO • EULER : JURNAL ILMIAH MATEMATIKA, SAINS DAN TEKNOLOGI

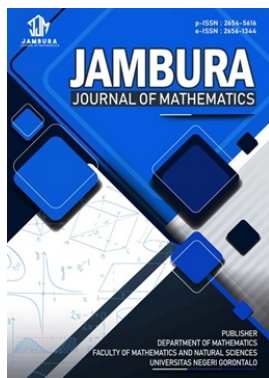


	Homepage	:	http://ejurnal.ung.ac.id/index.php/euler/index
	Journal Abbreviation	:	Euler J. Ilm. Mat. Sains dan Teknol.
	Frequency	:	Three times a year
	Publication Language	:	English (preferable), Indonesia
	DOI	:	https://doi.org/10.37905/euler
	Online ISSN	:	2776-3706
	License	:	Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
	Publisher	:	Department of Mathematics, Universitas Negeri Gorontalo
	Country	:	Indonesia
	OAI Address	:	http://ejurnal.ung.ac.id/index.php/euler/oai
	Google Scholar ID	:	QF_r_gAAAAJ
	Email	:	euler@ung.ac.id

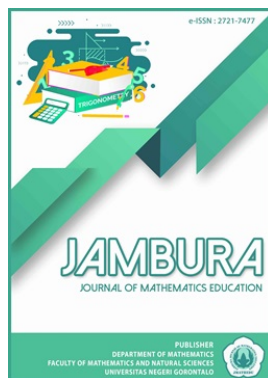
JAMBURA JOURNAL • FIND OUR OTHER JOURNALS



Jambura Journal of Biomathematics



Jambura Journal of Mathematics



Jambura Journal of Mathematics Education



Jambura Journal of Probability and Statistics

Pemodelan Kasus Tuberkulosis Berdasarkan Faktor Lingkungan Menggunakan Metode *Geographically and Temporally Weighted Regression*

Randa Trezenki^{1,*}, Novia Novia¹, Egita Riyanti Supangadi¹, Abiyandra Radika Raihan¹, Ririn Amelia¹

¹Program Studi Matematika, Universitas Bangka Belitung, Bangka Belitung 33172, Indonesia

ARTICLE HISTORY

Diterima 30 September 2025
Direvisi 19 November 2025
Disetujui 27 November 2025
Diterbitkan 2 Desember 2025

KATA KUNCI

Tuberkulosis
Faktor Lingkungan
GTWR
Heterogenitas Spasial-Temporal

KEYWORDS

Tuberculosis
Environmental Factors
GTWR
Spatial-Temporal Heterogeneity

ABSTRAK. Saat ini Tuberkulosis (TBC) merupakan salah satu masalah kesehatan global dengan jumlah kasus dan kematian yang tinggi, termasuk di Indonesia yang menempati peringkat ketiga dunia setelah India dan Tiongkok. Kasus TBC di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung menunjukkan fluktuasi signifikan selama periode 2020 hingga 2024, yang mengindikasikan adanya pengaruh faktor lingkungan terhadap penyebaran penyakit ini. Penelitian ini bertujuan memodelkan pengaruh faktor lingkungan, yang meliputi kepadatan penduduk, sanitasi layak, dan kualitas udara, terhadap penyebaran tuberkulosis di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung dengan menggunakan metode *Geographically and Temporally Weighted Regression* (GTWR). Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder dari tujuh kabupaten/kota dengan total 35 observasi spasial-temporal. Hasil penelitian menunjukkan adanya heterogenitas spasial-temporal yang signifikan pada penyebaran kasus TBC. Model GTWR terbukti lebih baik dibandingkan regresi linear berganda dengan nilai $Adjusted R^2$ sebesar 0,9733, Akaike Information Criterion (AIC) lebih rendah sebesar 447,23, serta Root Mean Square Error (RMSE) yang lebih kecil hanya sebesar 102,66. Penelitian ini menunjukkan bahwa kepadatan penduduk dan sanitasi layak berperan penting dalam meningkatkan maupun menurunkan kasus TBC, sedangkan kualitas udara relatif stabil pengaruhnya. Pendekatan GTWR mampu memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai pola penyebaran TBC serta menjadi dasar dalam merumuskan intervensi kesehatan yang lebih tepat sasaran di wilayah kepulauan di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung.

ABSTRACT. Tuberculosis (TB) is currently a global health problem with a high number of cases and deaths, including in Indonesia, which ranks third in the world after India and China. TB cases in the Bangka Belitung Islands Province showed significant fluctuations from 2020 to 2024, indicating the influence of environmental factors on the spread of this disease. This study aims to model the influence of environmental factors, including population density, proper sanitation, and air quality, on the spread of tuberculosis in the Bangka Belitung Islands Province using the *Geographically and Temporally Weighted Regression* (GTWR) method. The data used in this study are secondary data from seven districts/cities with a total of 35 spatial-temporal observations. The results of the study indicate significant spatial-temporal heterogeneity in the distribution of TB cases. The GTWR model proved to be better than multiple linear regression with an $Adjusted R^2$ value of 0.9733, a lower Akaike Information Criterion (AIC) of 447.23, and a smaller Root Mean Square Error (RMSE) of only 102.66. This study shows that population density and proper sanitation play an important role in increasing or decreasing TB cases, while air quality has a relatively stable effect. The GTWR approach is able to provide a more accurate picture of the pattern of TB spread and serves as a basis for formulating more targeted health interventions in the island region of the Bangka Belitung Islands Province.



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 EULER:** Department of Mathematics, Universitas Negeri Gorontalo, Jln. Prof. Dr. Ing. B. J. Habibie, Bone Bolango 96554, Indonesia.

1. Pendahuluan

Menurut WHO, Tuberkulosis (TBC) merupakan masalah kesehatan global serius dengan 10,6 juta kasus baru dan 1,3 juta kematian pada tahun 2022 [1]. Dampak penyakit ini tidak hanya terbatas pada kesehatan individu, tetapi juga menurunkan produktivitas dan menambah beban ekonomi, terutama di negara berkembang. Indonesia menempati peringkat ketiga tertinggi di dunia setelah India dan China dengan insidensi mencapai 386 per

100.000 penduduk pada tahun 2023 [2]. Meskipun berbagai program pengendalian telah diperkuat, tren penyebaran TBC masih menunjukkan kecenderungan meningkat di sejumlah wilayah.

Berdasarkan laporan Kementerian Kesehatan tahun 2024, secara nasional kasus TBC meningkat dari 724.309 pada tahun 2022 menjadi 820.789 pada tahun 2023, yang menunjukkan keberhasilan deteksi namun juga tingginya tingkat penularan [3]. Tantangan utama dalam upaya eliminasi TBC adalah keterlambatan diagnosis dan munculnya TBC resisten obat, terutama di dae-

*Penulis Korespondensi.

rah dengan fasilitas kesehatan terbatas dan distribusi tenaga medis yang belum merata. Kondisi ini menegaskan pentingnya percepatan strategi eliminasi TBC 2030 yang adaptif terhadap konteks lokal.

Provinsi Kepulauan Bangka Belitung turut menghadapi tantangan tersebut. Dalam lima tahun terakhir, jumlah kasus TBC menunjukkan fluktuasi, yakni 1.606 kasus pada tahun 2020, turun menjadi 1.257 pada 2021, kemudian meningkat menjadi 1.546 pada 2022. Lonjakan signifikan terjadi pada 2023 dengan 2.519 kasus, meskipun sedikit menurun menjadi 2.472 pada 2024. Fluktuasi ini menunjukkan bahwa kepadatan penduduk mempermudah kontak erat dan penularan [4]. Sanitasi yang buruk meningkatkan kerentanan terhadap infeksi [5], sedangkan kualitas udara dengan polutan tinggi dapat melemahkan pertahanan paru [6]. Selain itu, kondisi iklim mikro seperti suhu dan kelembapan turut memengaruhi kelangsungan hidup bakteri penyebab TBC [7]. Dinamika tersebut menegaskan pentingnya analisis spasial untuk memahami pengaruh faktor lingkungan terhadap persebaran TBC sebagai dasar pengendalian yang lebih efektif di tingkat daerah.

Berbagai metode statistik telah digunakan untuk menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi penyebaran penyakit menular seperti TBC. Pendekatan klasik seperti regresi linier berganda dan regresi panel banyak digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antara variabel sosial, ekonomi, dan lingkungan terhadap tingkat kejadian penyakit, tetapi metode tersebut mengasumsikan hubungan yang homogen di seluruh wilayah dan waktu [8]. Dalam konteks penyakit berbasis lingkungan, variasi kondisi antarwilayah dan perubahan dari tahun ke tahun menjadikan pendekatan spasial-temporal lebih relevan. Oleh karena itu, metode spasial seperti *Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR)* dinilai lebih tepat untuk menggambarkan dinamika penyebaran TBC secara menyeluruh [9].

Berbagai penelitian sebelumnya telah memanfaatkan metode spasial untuk memahami pola penyebaran penyakit berbasis lingkungan di Indonesia. Misalnya, Rahmasari et al. [10] menunjukkan bahwa pendekatan spasial mampu mengidentifikasi pengaruh faktor iklim terhadap persebaran penyakit menular seperti demam berdarah di Asia Tenggara. Selain itu, Namuwali [11] menyoroti peran karakteristik demografi dan kualitas hidup penderita TBC dalam menentukan kerentanan terhadap penyakit di tingkat komunitas. Temuan tersebut menunjukkan pentingnya mempertimbangkan aspek lokasi dan kondisi sosial dalam analisis epidemiologi.

Seiring dengan berkembangnya analisis spasial, metode *Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR)* mulai digunakan untuk menangkap variasi spasial dan temporal secara bersamaan. Praditya et al. [12] membuktikan bahwa *GTWR* dapat memberikan hasil estimasi yang lebih akurat dibandingkan model spasial tunggal seperti *GWR* karena mampu menggambarkan perubahan hubungan antarvariabel dari waktu ke waktu. Dalam studi lain, [13] menggunakan analisis spasial-temporal yang serupa untuk meneliti pneumonia pada balita dan menemukan adanya pengaruh signifikan kondisi lingkungan terhadap peningkatan kasus di wilayah padat penduduk.

Namun, penerapan *GTWR* dalam konteks penyakit TBC di Indonesia masih sangat terbatas, khususnya di wilayah kepulauan seperti Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Penelitian Belliani

dan Surwanti [14] baru sebatas menyoroti upaya promosi kesehatan tanpa mengkaji variasi spasial-temporal faktor lingkungan yang memengaruhi penyebaran penyakit. Celah ini menunjukkan perlunya penelitian lanjutan yang mengintegrasikan faktor kepadatan penduduk, sanitasi, dan kualitas udara menggunakan metode *GTWR* untuk mengungkap pola risiko TBC yang lebih rinci dan kontekstual.

Penelitian ini menggunakan metode *Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR)* untuk menganalisis pola penyebaran TBC di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung dengan mempertimbangkan perbedaan antarwilayah dan perubahan dari waktu ke waktu. Berbeda dari penelitian sebelumnya yang hanya melihat variasi spasial, penelitian ini menambahkan dimensi waktu agar hasil analisis lebih menyeluruh. Penelitian ini penting dilakukan karena dapat membantu menghasilkan peta risiko TBC yang lebih akurat, sehingga mendukung perencanaan dan pelaksanaan program kesehatan yang lebih tepat sasaran. Tujuannya adalah mengidentifikasi pengaruh faktor lingkungan dan sosial terhadap TBC secara spasial-temporal serta memberikan dasar ilmiah bagi kebijakan pengendalian TBC di wilayah kepulauan.

Selain memperkaya literatur epidemiologi spasial-temporal, diharapkan dari hasil penelitian ini dapat menjadi masukan strategis bagi pemerintah untuk mengoptimalkan sumber daya, memperluas akses layanan kesehatan, dan memperkuat program eliminasi TBC di Bangka Belitung [15]. Penelitian ini juga dapat menjadi referensi metodologis bagi penelitian serupa di wilayah kepulauan lain dengan tantangan lingkungan sejenis.

2. Metode

Penelitian kuantitatif digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan pendekatan spasial-temporal yang bertujuan menganalisis pengaruh faktor lingkungan terhadap penyebaran penyakit tuberkulosis di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung menggunakan metode *Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR)*. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder, meliputi jumlah kasus tuberkulosis (TBC) per kabupaten/kota yang didapat dari Dinas Kesehatan Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, data kepadatan penduduk dari Badan Pusat Statistik Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, data rumah tangga dengan sanitasi layak dari Dinas Kesehatan Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, serta data kualitas udara dari Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Selain itu, digunakan juga data spasial berupa peta batas administrasi kabupaten/kota dalam format *shapefile* yang didapat dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Data dari 6 kabupaten dan 1 kota di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung diamati mulai dari 2020 hingga 2024 dengan total 35 observasi. Variabel dependen dan independen pada penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel dependen dan independen pada penelitian

Jenis Variabel	Nama Variabel	Satuan
Dependen	Y (Jumlah Kasus TBC)	Kasus
	X_1 (Rumah Tangga Sanitasi Layak)	Kartu Keluarga (KK)
Independen	X_2 (Kepadatan Penduduk)	Jiwa/Km ²
	X_3 (Kualitas Udara)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$

Penelitian dilakukan dengan mengikuti tahapan-tahapan yang diuraikan sebagai berikut.

2.1. Mengumpulkan Data yang Digunakan dalam Penelitian

Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diambil dari instansi atau sumber resmi yang relevan dengan topik kajian. Data sekunder dipilih karena telah terdokumentasi dengan baik, mencakup periode waktu tertentu, serta memiliki cakupan wilayah dan variabel yang sesuai dengan kebutuhan penelitian. Tahap ini mencakup proses identifikasi sumber data, seperti laporan dinas kesehatan, publikasi pemerintah, atau basis data statistik resmi, kemudian melakukan verifikasi agar data yang digunakan valid dan reliabel. Dengan demikian, data yang terkumpul dapat mendukung analisis lebih lanjut secara tepat sasaran sesuai tujuan penelitian.

2.2. Melakukan Analisis Deskriptif

Pada tahap ini bertujuan memberikan penjelasan awal terkait karakteristik data pada setiap variabel penelitian [16]. Statistik deskriptif yang digunakan meliputi nilai rata-rata (*mean*), median, minimum, maksimum, dan standar deviasi [17]. Analisis ini bertujuan untuk melihat kecenderungan umum, sebaran data, serta perbedaan kondisi antar kabupaten/kota dan antar periode waktu. Hasil analisis deskriptif juga menjadi dasar dalam mengidentifikasi pola awal sebelum dilakukan pengujian lebih lanjut dengan model GTWR.

2.3. Melakukan Uji Multikolinearitas

Uji multikolinearitas dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat atau tidak adanya hubungan linear yang tinggi antar variabel independen [18]. Apabila multikolinearitas tinggi muncul, maka estimasi parameter regresi bisa menjadi tidak konsisten dan interpretasi hasilnya berpotensi kurang akurat [19].

Pengujian dilakukan dengan menghitung nilai *Variance Inflation Factor (VIF)* pada masing-masing variabel independen, menggunakan pers. (1):

$$VIF_i = \frac{1}{1 - R_i^2}, \quad (1)$$

di mana R_i^2 adalah koefisien determinasi dari hasil regresi variabel independen ke- i terhadap variabel independen lainnya. Kriteria pengujian:

- Jika $VIF < 10$, maka tidak terdapat masalah multikolinearitas.
- Jika $VIF \geq 10$, maka terdapat indikasi multikolinearitas tinggi sehingga variabel tersebut perlu ditinjau kembali.

2.4. Melakukan Uji Heterogenitas Spasial dan Temporal

Uji heterogenitas spasial bertujuan untuk mengetahui apakah perbedaan lokasi atau wilayah menyebabkan adanya variasi pada data yang dianalisis [20]. Untuk mendeteksi keberadaan heterogenitas spasial digunakan uji Breusch–Pagan. Hipotesis:

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_n^2 = \sigma^2, \\ H_1 : \exists \sigma_i^2 \neq \sigma^2, i = 1, 2, \dots, n.$$

Statistik uji Breusch–Pagan diberikan pada pers. (2):

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

Nilai vektor f adalah $f_i = \frac{e_i^2}{\sigma^2} - 1$. Nilai e_i merupakan *least squares residual*, dan Z merupakan matriks berukuran $n \times (p +$

1) dengan elemen vektor yang sudah dinormalisasi. Kriteria uji: tolak H_0 apabila $BP > \chi_{\alpha, (p+1)}^2$ atau $p\text{-value} < \alpha$.

Sementara itu, uji heterogenitas temporal digunakan untuk melihat perbedaan keragaman data pada periode waktu yang berbeda. Identifikasi heterogenitas temporal dapat dilakukan melalui visualisasi *boxplot*. Lebar *boxplot* mencerminkan tingkat keragaman data, di mana semakin lebar bentuknya menunjukkan keragaman yang semakin tinggi. Jarak antar kuartil pada *boxplot* juga merepresentasikan variasi data, sedangkan semakin jauhnya nilai *outlier* dari titik tengah *boxplot* mengindikasikan adanya peningkatan nilai data [20].

2.5. Melakukan Pemodelan Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR)

Metode *Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR)* adalah perluasan dari *GWR* yang memasukkan dimensi waktu ke dalam model sehingga mampu menangkap heterogenitas spasial-temporal secara simultan [21]. Estimasi parameter dilakukan dengan *Weighted Least Squares (WLS)* menggunakan matriks pembobot berbasis jarak geografis dan perbedaan waktu, di mana pemilihan fungsi kernel serta *bandwidth* optimal ditentukan melalui *cross validation*. Metode ini unggul dalam menganalisis dinamika hubungan variabel yang berubah antar lokasi dan waktu, sehingga banyak diterapkan pada studi dengan pola spasial-temporal kompleks, seperti epidemiologi penyakit, transportasi, dan lingkungan [22]. Model GTWR dapat dirumuskan melalui pers. (3):

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i, t_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(u_i, v_i, t_i) x_{ik} + \varepsilon_i. \quad (3)$$

Keterangan:

- Y : Nilai observasi variabel pada lokasi ke- i ,
- i : Lokasi pengamatan ke- i , di mana $i = 1, 2, \dots, n$,
- k : Variabel bebas ke- k , di mana $k = 1, 2, \dots, p$,
- (u_i, v_i, t_i) : Menyatakan titik koordinat (lintang, bujur) lokasi pengamatan ke- i dan waktu pengamatan ke- i ,
- $\beta_0(u_i, v_i, t_i)$: Nilai *intercept* untuk setiap lokasi pengamatan dan waktu pengamatan ke- i ,
- $\beta_k(u_i, v_i, t_i)$: Koefisien regresi ke- k untuk setiap lokasi pengamatan ke- i dan waktu pengamatan ke- i ,
- x_{ik} : Variabel bebas ke- k pada lokasi pengamatan ke- i dengan $k = 1, 2, \dots, p$,
- ε_i : *Error* pengamatan ke- i yang diasumsikan identik, bebas, dan berdistribusi normal dengan mean nol dan varians konstan σ^2 .

Koefisien regresi $\beta(u_i, v_i, t_i)$ pada titik ke- i dapat dijelaskan menggunakan *Weighted Least Square (WLS)* dengan kriteria yang disajikan pada pers. (4):

$$\beta(u_i, v_i, t_i) = (X^T W(u_i, v_i, t_i) X)^{-1} X^T W(u_i, v_i, t_i) Y. \quad (4)$$

Estimasi parameter pada model GTWR dilakukan dengan metode *WLS*, yaitu dengan memberikan bobot yang berbeda pada setiap lokasi dan waktu pengamatan, dituliskan sebagai $W(u_i, v_i, t_i)$, di mana $W(u_i, v_i, t_i) = \text{diag}(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in})$ dengan n merupakan jumlah data observasi. Elemen diagonal a_{ij} ($1 \leq j \leq n$) adalah fungsi jarak ruang (u_i, v_i) dan waktu (t) .

Metode GTWR memungkinkan penilaian parameter lokal terhadap variabel yang terpengaruh oleh heterogenitas spasial

dan temporal [22]. Artinya, pengamatan yang secara spasial dan temporal lebih dekat dengan titik analisis diberikan bobot yang lebih tinggi, sehingga memiliki pengaruh lebih besar dalam estimasi model [23].

Dalam penelitian ini, pemilihan fungsi kernel dilakukan secara cermat agar model yang digunakan dapat menghasilkan estimasi parameter yang optimal. Penentuan kernel didasarkan pada perbandingan kinerja masing-masing kernel dengan menggunakan beberapa indikator statistik, yaitu *Adjusted R²*, *AIC*, dan *RMSE*. Kernel yang dipilih adalah yang memberikan nilai *Adjusted R²* tertinggi, karena mencerminkan kemampuan model dalam menjelaskan variasi data secara lebih baik. Selain itu, diprioritaskan juga kernel dengan nilai *AIC* dan *RMSE* terendah, yang menunjukkan efisiensi model serta tingkat kesalahan prediksi yang lebih kecil.

Dengan pendekatan ini, kernel yang terpilih diharapkan mampu menggambarkan pola spasial-temporal data penelitian secara lebih akurat. Empat jenis fungsi kernel yang digunakan dalam proses evaluasi ini menggunakan pers. (5)–pers. (8).

a. Fungsi Kernel Gaussian

$$w_{ij} = \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{d_{ij}^{ST}}{h^{ST}} \right)^2 \right]. \quad (5)$$

b. Fungsi Kernel Exponential

$$w_{ij} = \sqrt{\exp \left[-\left(\frac{d_{ij}^{ST}}{h^{ST}} \right)^2 \right]}. \quad (6)$$

c. Fungsi Kernel Bisquare

$$w_{ij} = \begin{cases} \left[1 - \left(\frac{d_{ij}^{ST}}{h^{ST}} \right)^2 \right]^2, & d_{ij}^{ST} \leq h^{ST} \\ 0, & d_{ij}^{ST} > h^{ST}. \end{cases} \quad (7)$$

d. Fungsi Kernel Tricube

$$w_{ij} = \begin{cases} \left[1 - \left(\frac{d_{ij}^{ST}}{h^{ST}} \right)^3 \right]^3, & d_{ij}^{ST} \leq h^{ST} \\ 0, & d_{ij}^{ST} > h^{ST} \end{cases}. \quad (8)$$

2.6. Membuat Pemetaan Estimasi Parameter.

Pemetaan dilakukan untuk menunjukkan variasi spasial dan temporal dari koefisien variabel independen di setiap kabupaten/kota [?]. Melalui peta ini, dapat diidentifikasi daerah dengan pengaruh yang lebih besar maupun lebih kecil dari tiap faktor lingkungan terhadap jumlah kasus tuberkulosis, sehingga hasil analisis lebih mudah dipahami dan dapat dijadikan dasar pengambilan keputusan. Selain itu, pemetaan memberikan visualisasi yang lebih jelas sehingga pola penyebaran serta perbedaan pengaruh antarwilayah dapat terlihat secara nyata.

Dengan adanya pemetaan, kebijakan intervensi dapat dirancang lebih tepat sasaran sesuai kondisi spesifik setiap daerah. Peta ini juga berfungsi sebagai sarana pemantauan untuk mengevaluasi perubahan kondisi dari waktu ke waktu. Lebih lanjut, hasil pemetaan dapat digunakan sebagai acuan bagi penelitian berikutnya dalam mengkaji faktor-faktor yang memengaruhi dinamika penyebaran tuberkulosis.

2.7. Melaksanakan Uji Kesesuaian Model antara Regresi Linear Berganda dan Model GTWR

Uji signifikansi dilakukan untuk menentukan parameter yang memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel respon pada masing-masing lokasi pengamatan [20]. Adapun hipotesis yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

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

(Parameter lokal yang diperoleh dari model GTWR secara keseluruhan tidak mempengaruhi variabel respon),

$$H_1 : \exists \beta_k(u_i, v_i, t_i) \neq 0.$$

(Paling sedikit ada parameter lokal yang diperoleh dari model GTWR yang mempengaruhi variabel respon), dengan $k = 1, 2, 3, \dots, p$ dan $i = 1, 2, 3, \dots, n$ serta $\alpha = 0,05$. Selanjutnya, uji statistik dilakukan menggunakan pers. (9).

$$t_{hitung} = \frac{\beta_k(u_i, v_i, t_i)}{\sigma \sqrt{C_{kk}}}. \quad (9)$$

Persamaan ini digunakan untuk menghitung nilai statistik t dari setiap koefisien regresi lokal β_k pada titik lokasi dan waktu tertentu (u_i, v_i, t_i) . Nilai ini digunakan untuk mengetahui signifikansi pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat di tiap lokasi dan waktu. Hasil perhitungan ini kemudian diinterpretasikan pada bab hasil untuk melihat wilayah dan periode di mana suatu faktor memiliki pengaruh signifikan terhadap kasus tuberkulosis. t_{hitung} akan mengikuti distribusi t dengan derajat bebas $df = \frac{\delta_1^2}{\delta_2^2}$. Kriteria uji yaitu tolak H_0 jika $|t_{hitung}| \geq t_{\alpha/2}$, atau jika $p\text{-value} \leq \alpha$.

2.8. Melakukan Interpretasi Hasil dan Penarikan Kesimpulan

Tahap interpretasi hasil bertujuan untuk menelaah pengaruh variabel independen terhadap jumlah kasus tuberkulosis di tiap kabupaten/kota serta perbedaannya secara spasial dan temporal. Analisis menunjukkan bahwa faktor kepadatan penduduk dan sanitasi memiliki pengaruh signifikan pada periode tertentu, sedangkan kualitas udara cenderung tidak banyak berubah. Berdasarkan hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa penyebaran tuberkulosis dipengaruhi oleh karakteristik lokal sehingga kebijakan kesehatan sebaiknya disesuaikan agar lebih efektif dan tepat sasaran.

3. Hasil dan Pembahasan

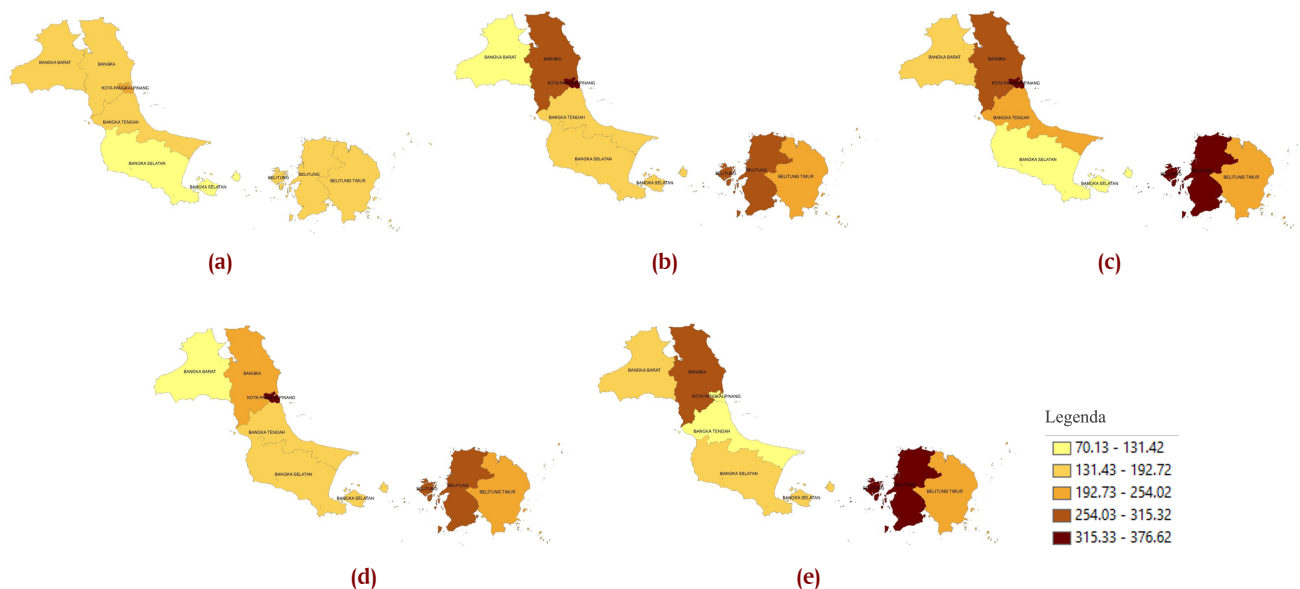
3.1. Statistika Deskriptif

Statistika deskriptif digunakan untuk memberikan gambaran mengenai karakteristik data pada setiap variabel penelitian melalui ukuran rata-rata (*mean*), median, nilai minimum, nilai maksimum, serta simpangan baku yang mencerminkan kecenderungan dan penyebaran data. Adapun statistika deskriptif dari masing-masing variabel penelitian pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2, diketahui jumlah kasus tuberkulosis di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung periode 2020–2024 mengalami fluktuasi dengan rata-rata tahunan antara 209 hingga 423 kasus, di mana kasus tertinggi terjadi pada tahun 2023 dan terendah pada tahun 2021. Variabel kepadatan penduduk menunjukkan perbedaan yang cukup mencolok antar kabupaten/kota dengan rata-rata 375–421 jiwa/km² serta simpangan baku yang

Tabel 2. Statistika deskriptif variabel penelitian

Variabel	Tahun	Mean	Median	Min	Max	Simpangan Baku
Jumlah Penyakit TBC (Y) (Kasus)	2020	246	224	139	403	105,82
	2021	209	150	123	372	96,01
	2022	365	251	155	655	190,39
	2023	423	266	233	856	226,18
	2024	367	279	198	731	183,13
Rumah Tangga Sanitasi Layak (X_1) (Kartu Keluarga)	2020	55.201	58.084	36.155	76.737	13.029,23
	2021	62.976	59.397	39.232	99.594	17.233,97
	2022	63.123	60.305	40.359	102.086	18.162,77
	2023	65.759	63.137	40.777	104.299	18.881,51
	2024	71.431	67.846	40.870	107.575	22.028,54
Kepadatan Penduduk (X_2) (Jiwa/Km ²)	2020	414,96	79,39	50,67	2.444,84	828,91
	2021	421,29	80,00	51,00	2.483,00	841,92
	2022	375,45	82,06	50,39	2.164,69	730,69
	2023	377,69	83,33	50,71	2.174,63	733,84
	2024	382,79	84,29	51,31	2.204,33	743,89
Kualitas Udara (X_3) ($\mu g/m^3$)	2020	91,58	91,52	86,67	97,87	3,33
	2021	89,96	89,71	86,71	95,15	2,61
	2022	89,75	89,20	86,55	94,50	2,42
	2023	90,15	89,72	87,77	95,23	2,26
	2024	92,13	92,33	88,46	94,58	1,93



Gambar 1. Peta *incident rate* kasus tuberkulosis di provinsi Kepulauan Bangka Belitung pada tahun (a) 2020; (b) 2021; (c) 2022; (d) 2023; (e) 2024

tinggi, mengindikasikan adanya ketimpangan distribusi penduduk. Rumah tangga dengan sanitasi layak cenderung meningkat dari 55,20 pada tahun 2020 menjadi 71,43 pada tahun 2024, meskipun masih terdapat perbedaan besar antar wilayah. Sementara itu, kualitas udara relatif stabil dengan rata-rata di atas 89 setiap tahunnya dan variasi yang kecil.

Selanjutnya, pemetaan *incident rate* tuberkulosis juga dilakukan untuk melihat daerah yang memiliki nilai *incident rate* yang tinggi. Peta *incident rate* tuberkulosis di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung tahun 2020 hingga tahun 2024, disajikan pada **Gambar 1**.

Berdasarkan peta *incident rate* kasus tuberkulosis di Bangka Belitung tahun 2020–2024 pada **Gambar 1**, terlihat adanya peningkatan signifikan angka kejadian dari tahun ke tahun, terutama di wilayah bagian timur provinsi. Pada tahun 2020 seba-

gian besar wilayah masih berada pada kategori rendah (70,13–131,42), namun mulai tahun 2021 hingga 2022 terjadi peningkatan dengan munculnya wilayah kategori menengah (131,43–254,02). Puncaknya, pada tahun 2023 hingga 2024 sebagian besar wilayah timur didominasi kategori tinggi hingga sangat tinggi (254,03–376,62), sementara wilayah barat meskipun relatif lebih rendah juga menunjukkan tren peningkatan. Perubahan warna dari kuning muda menjadi coklat tua hingga merah tua mencerminkan lonjakan beban kasus tuberkulosis yang memerlukan perhatian dan penanganan lebih intensif.

3.2. Uji Multikolinearitas

Uji ini bertujuan mengetahui apakah ada atau tidak hubungan antar variabel independen yang saling memengaruhi. Dengan hasil uji multikolinearitas menggunakan *pers. (1)*, disajikan

pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji multikolinearitas variabel independen

Variabel	VIF
X_1	1,592704
$\ln X_2$	1,195123
X_3	1,609820

Berdasarkan Tabel 3, diperoleh bahwa variabel independen X_1 , $\ln X_2$, dan X_3 memiliki nilai $VIF < 10$. Hal tersebut menunjukkan bahwa seluruh variabel independen tidak mengalami gejala multikolinearitas, artinya antarvariabel independen tidak saling memengaruhi atau tidak memiliki keterkaitan.

3.3. Uji Heterogenitas Spasial dan Temporal

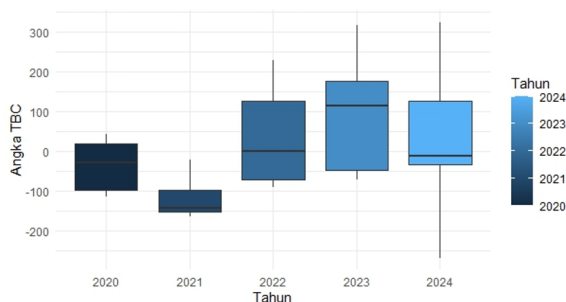
Uji ini bertujuan untuk mengidentifikasi adanya heterogenitas spasial maupun temporal antarkabupaten/kota di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Pengujian dilakukan secara simultan terhadap 6 kabupaten dan 1 kota selama periode 2020 hingga 2024 dengan tingkat signifikansi (α) 5%. Tujuan uji heterogenitas spasial adalah mengetahui apakah terdapat pengaruh efek spasial pada data atau tidak. Pengujian heterogenitas spasial dalam penelitian ini dilakukan menggunakan uji *Breusch–Pagan* pada pers. (2), dan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji heterogenitas spasial menggunakan uji *Breusch–Pagan*

Variabel	VIF
P_{value}	0,0275
BP_{hitung}	9,139
$\chi^2_{\alpha; p}(0,05; 3)$	7,814728

Berdasarkan Tabel 4, hasil uji heterogenitas spasial yang menggunakan uji *Breusch–Pagan* diperoleh nilai $p\text{-value}$ ($0,0275$) $< \alpha$ ($0,05$) dan BP_{hitung} ($9,139$) $> \chi^2_{0,05, 3}$ ($7,814728$). Hasil ini menunjukkan bahwa terdapat heterogenitas spasial yang signifikan pada data kasus tuberkulosis antarkabupaten/kota di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung selama periode 2020–2024.

Selain uji heterogenitas spasial, diperlukan juga uji heterogenitas temporal untuk mengetahui apakah data penelitian mengalami perubahan nilai seiring waktu atau tidak. Identifikasi heterogenitas temporal dapat dilakukan melalui visualisasi *boxplot* dengan hasil pada Gambar 2.



Gambar 2. *Boxplot* uji heterogenitas temporal

Berdasarkan *boxplot* uji heterogenitas temporal pada Gambar 2, angka tuberkulosis di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung tahun 2020–2024, menunjukkan adanya perubahan distribusi ni-

lai dari waktu ke waktu yang menunjukkan heterogenitas temporal pada data. Tahun 2020 memiliki sebaran rendah, kemudian menurun pada 2021 dengan variasi yang sempit, namun meningkat tajam pada 2022 dan 2023 dengan median serta rentang sebaran yang lebih tinggi, sebelum kembali menurun pada 2024 meskipun sebarannya masih cukup lebar. Hal ini menunjukkan bahwa angka kasus tuberkulosis mengalami fluktuasi dan variasi antartahun yang cukup signifikan.

3.4. Pemodelan Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR)

Tahap awal dalam penentuan model GTWR adalah memilih fungsi kernel adaptif yang paling sesuai. Setelah itu menentukan nilai estimasi parameter model GTWR berdasarkan fungsi kernel yang telah diperoleh sebelumnya. Langkah berikutnya adalah melakukan analisis terhadap model GTWR yang telah diperoleh.

Penentuan fungsi kernel adaptif dilakukan dengan membandingkan nilai *Adjusted-R²*, AIC, dan RMSE dari masing-masing fungsi kernel yang digunakan. Melalui pengolahan data dengan *software R* sesuai dengan atribut pers. (5)–pers. (8), diperoleh hasil pada Tabel 5.

Tabel 5. Pemilihan fungsi kernel adaptif terbaik

Kernel	<i>Adjusted-R²</i>	AIC	RMSE
Gaussian	0,3626831	445,4385	131,7708
Eksponensial	0,4030412	442,4442	125,0717
Bisquare	0,4615143	438,4042	115,3754
Tricube	0,4642991	438,4215	115,5498

Berdasarkan Tabel 5, hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *Adjusted-R²* tertinggi diperoleh pada kernel *tricube* ($0,4642991$), diikuti oleh *bisquare* ($0,4615143$), sedangkan kernel *eksponensial* ($0,4030412$) dan *gaussian* ($0,3626831$) memberikan nilai yang lebih rendah. Selain itu, nilai AIC dan RMSE terkecil diperoleh pada kernel *bisquare*, masing-masing sebesar $438,4042$ dan $115,3754$. Hal ini mengindikasikan bahwa pemodelan GTWR paling optimal dilakukan menggunakan adaptif kernel *bisquare*. Dengan demikian, penggunaan kernel *bisquare* dapat dianggap sebagai pilihan terbaik untuk penelitian ini karena mampu memberikan kemampuan prediksi spasial yang lebih kuat dibandingkan alternatif kernel lainnya. Tabel 6 berikut menyajikan nilai estimasi parameter model GTWR yang menggunakan fungsi kernel adaptif *bisquare*.

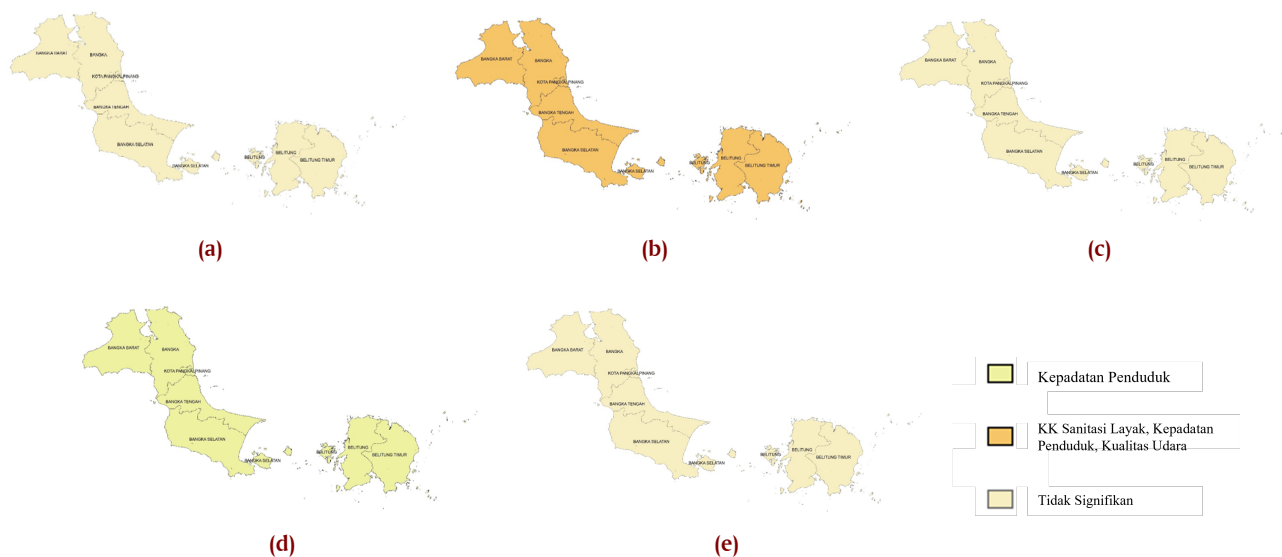
Sebagai salah satu contoh model GTWR tersebut yaitu Kabupaten Bangka Tahun 2020:

$$Y_{\text{Bangka},2020} = 6612,178 - 0,006 X_1 + 4,307 \ln(X_2) - 66,412 X_3.$$

Berdasarkan persamaan di atas diperoleh intercept model GTWR pada Kabupaten Bangka Tahun 2020 bernilai $6612,178$. Hal ini menunjukkan bahwa persentase kasus tuberkulosis di Kabupaten Bangka tahun 2020 sebesar $6612,178$ ketika tidak terdapat pengaruh dari variabel independen. Ketika variabel X_1 yaitu rumah tangga sanitasi layak mengalami peningkatan satu satuan maka persentase kasus tuberkulosis di Kabupaten Bangka tahun 2020 mengalami penurunan sebanyak $0,006$ dengan asumsi variabel lain bernilai tetap. Apabila variabel X_2 yaitu kepadatan penduduk mengalami peningkatan satu satuan maka persentase kasus tuberkulosis di Kabupaten Bangka tahun 2020 juga mengalami peningkatan sebesar $4,307$ dengan asumsi variabel lain bernilai

Tabel 6. Nilai estimasi parameter model GTWR

Estimasi Parameter	Minimum	Q_1	Median	Q_3	Maximum
β_0	-22617,82	920,696863357	1251,237	3610,113	26862,92
β_1	-0,06863552	-0,004329773	0,004099061	0,007696005	0,03176611
$\ln \beta_2$	-87,30140	8,651297511	74,90704	116,3064	214,6098
β_3	-259,9814	-40,850431095	-20,30363	-13,28718	246,6786



Gambar 3. Peta sebaran variabel signifikan dalam memengaruhi banyaknya kasus tuberkulosis pada Kabupaten/Kota di Provinsi kepulauan Bangka Belitung tahun (a) 2020; (b) 2021; (c) 2022; (d) 2023; (e) 2024

Tabel 7. Signifikansi variabel independen

Tahun	Variabel	n	Kabupaten/Kota
2020	Tidak ada variabel signifikan	7	Kab. Bangka, Kota Pangkalpinang, Kab. Bangka Tengah, Kab. Belitung, Kab. Bangka Barat, Kab. Bangka Selatan, dan Kab. Belitung Timur
2021	KK Sanitasi Layak, Kepadatan Penduduk, Kualitas Udara	7	Kab. Bangka, Kota Pangkalpinang, Kab. Bangka Tengah, Kab. Belitung, Kab. Bangka Barat, Kab. Bangka Selatan, dan Kab. Belitung Timur
2022	Tidak ada variabel signifikan	7	Kab. Bangka, Kota Pangkalpinang, Kab. Bangka Tengah, Kab. Belitung, Kab. Bangka Barat, Kab. Bangka Selatan, dan Kab. Belitung Timur
2023	Kepadatan Penduduk	7	Kab. Bangka, Kota Pangkalpinang, Kab. Bangka Tengah, Kab. Belitung, Kab. Bangka Barat, Kab. Bangka Selatan, dan Kab. Belitung Timur
2024	Tidak ada variabel signifikan	7	Kab. Bangka, Kota Pangkalpinang, Kab. Bangka Tengah, Kab. Belitung, Kab. Bangka Barat, Kab. Bangka Selatan, dan Kab. Belitung Timur

lai tetap. Terakhir, apabila variabel X_3 yaitu kualitas udara mengalami peningkatan satu satuan maka persentase kasus tuberkulosis di Kabupaten Bangka tahun 2020 akan berkurang sebanyak 66,412 dengan asumsi bahwa variabel lain bernilai tetap.

3.5. Pemetaan Signifikansi Parameter

Analisis pemetaan signifikansi parameter dilakukan untuk menggambarkan sebaran variabel yang secara statistik berpengaruh terhadap jumlah kasus tuberkulosis di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Melalui pemetaan ini, dapat terlihat perbedaan variabel dominan pada masing-masing tahun. Peta pada **Gambar 3**, memperlihatkan hasil analisis tersebut untuk periode tahun 2020 hingga 2024 pada tingkat kabupaten/kota di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung.

Berdasarkan hasil analisis pada **Gambar 3**, ditunjukkan bahwa pada tahun 2020 (**Gambar 3a**) tidak ada variabel signifikan yang memengaruhi jumlah kasus TBC di semua wilayah. Pada tahun 2021 (**Gambar 3b**) terjadi perubahan, di mana kombinasi va-

riabel KK sanitasi layak, kepadatan penduduk, dan kualitas udara menunjukkan pengaruh signifikan di semua wilayah. Tahun 2022 (**Gambar 3c**) memperlihatkan penurunan jumlah wilayah signifikan dengan tidak ada variabel yang signifikan. Selanjutnya, pada tahun 2023 (**Gambar 3d**) variabel kepadatan penduduk menjadi faktor utama yang berpengaruh, sedangkan pada tahun 2024 (**Gambar 3e**) semua wilayah tidak menunjukkan signifikansi berarti. Secara keseluruhan, hasil pemetaan ini mengindikasikan bahwa kepadatan penduduk secara konsisten menjadi variabel yang paling berpengaruh terhadap jumlah kasus tuberkulosis di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung selama periode 2020–2024. Rincian pemetaan signifikansi variabel dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Berdasarkan **Tabel 7**, terlihat bahwa pada periode 2020–2024 variabel independen yang berpengaruh signifikan terhadap jumlah kasus tuberkulosis di kabupaten/kota Provinsi Kepulauan Bangka Belitung dengan taraf signifikansi 5% bervariasi. Pada tahun 2020, 2022, dan 2024 tidak terdapat variabel independen yang memberikan pengaruh signifikan. Sementara itu, pada ta-

hun 2021 dan 2023 terdapat variabel independen yang berpengaruh signifikan terhadap jumlah kasus tuberkulosis. Tahun 2021 menunjukkan bahwa variabel jumlah KK dengan sanitasi layak, kepadatan penduduk, dan kualitas udara berpengaruh signifikan di seluruh kabupaten/kota. Sedangkan pada tahun 2023, variabel kepadatan penduduk menjadi satu-satunya faktor yang signifikan memengaruhi jumlah kasus tuberkulosis di semua wilayah, meliputi Kabupaten Bangka, Kota Pangkalpinang, Kabupaten Bangka Tengah, Kabupaten Belitung, Kabupaten Bangka Barat, Kabupaten Bangka Selatan, dan Kabupaten Belitung Timur.

3.6. Ukuran Keakuratan Model

Ukuran keakuratan model dalam membandingkan model Regresi Linear Berganda dan model GTWR menggunakan *Adjusted R²*, *Akaike Information Criterion (AIC)*, dan *Root Mean Square Error (RMSE)*. Perbandingan nilai ukuran keakuratan model menggunakan pers. (9) dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan model regresi linear berganda dan GTWR

Kriteria	Regresi Linear Berganda	GTWR
<i>Adjusted R²</i>	0,3901	0,9733466
AIC	454,7746	447,2261
RMSE	139,0709	102,6628

Berdasarkan Tabel 8, model regresi linear berganda menunjukkan nilai *Adjusted R²* lebih besar dibandingkan dengan GTWR, yaitu berturut-turut sebesar 0,3901 dan 0,9733466. Pada nilai AIC, model GTWR lebih kecil dibandingkan model regresi linear berganda dengan masing-masing nilai 447,2261 dan 454,7746. Sementara itu, nilai RMSE pada model GTWR tercatat sebesar 102,6628, lebih rendah dibandingkan nilai 139,0709 pada model regresi linear berganda. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa model GTWR memiliki kinerja yang lebih unggul daripada model regresi linear berganda.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa pemodelan *Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR)* mampu memodelkan kasus tuberkulosis di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Pemodelan GTWR dengan fungsi kernel *bisquare* menghasilkan pemodelan yang lebih baik jika dibandingkan dengan model regresi linear berganda. Hal ini ditunjukkan dengan nilai *Adjusted R²* model GTWR yang lebih tinggi serta AIC dan RMSE lebih rendah dibandingkan model regresi linear berganda, sehingga dapat merepresentasikan variasi spasial-temporal dengan lebih akurat. Selain itu, pemetaan signifikansi parameter mengindikasikan bahwa pada tahun 2021 variabel kepadatan penduduk, KK dengan sanitasi layak, dan kualitas udara berpengaruh signifikan terhadap kasus tuberkulosis, serta pada tahun 2023 variabel kepadatan juga memiliki pengaruh terhadap kasus tuberkulosis. Sementara pada tahun lainnya pengaruh variabel independen tidak signifikan. Dengan demikian, GTWR terbukti efektif untuk menganalisis faktor spasial-temporal penyebaran tuberkulosis, serta dapat menjadi dasar penting bagi pemerintah daerah dalam merancang intervensi kesehatan yang lebih tepat sasaran, terutama dengan memperhatikan kepadatan penduduk

dan upaya peningkatan sanitasi.

Kontribusi Penulis. Randa Trezenki: Kurasi data, Analisis formal, Visualisasi, Penulisan draf awal, Penulisan—tinjauan dan penyuntingan. Novia: Konseptualisasi, Metodologi, Investigasi, Pengumpulan data. Egita Riyanti Supangadi: Penulisan—tinjauan dan penyuntingan, Telaah literatur, Validasi. Abiyandra Radika Raihan: Validasi, Penulisan—tinjauan dan penyuntingan, Interpretasi hasil. Ririn Amelia: Supervisi, Administrasi proyek. Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskrip yang diterbitkan.

Ucapan Terima Kasih. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Bangka Belitung, khususnya Program Studi Matematika, atas dukungan selama penelitian. Apresiasi juga disampaikan kepada Dinas Kesehatan, Badan Pusat Statistik, serta Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Provinsi Kepulauan Bangka Belitung atas penyediaan data. Terima kasih turut diberikan kepada seluruh pihak yang telah membantu dan mendukung penelitian ini.

Pembiayaan. Penelitian ini didukung oleh pendanaan dari Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Bangka Belitung melalui skema Program Kuliah Luar Kampus Tahun 2025.

Konflik Kepentingan. Para penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan yang terkait dengan artikel ini.

Ketersediaan Data. Tidak tersedia.

Referensi

- [1] Y. Wahyu Permadi, Irnawati, St. Rahmatullah, and V. Maharani, "Pemberdayaan Pasien Dengan Resiko Penyakit TBC Melalui Pengabdian Masyarakat Di Lingkungan Puskesmas Kedungwuni II Kabupaten Pekalongan," *KOMUNITA: Jurnal Pengabdian dan Pemberdayaan Masyarakat*, vol. 4, no. 1, pp. 87–96, Feb. 2025, doi: [10.60004/komunita.v4i1.144](https://doi.org/10.60004/komunita.v4i1.144).
- [2] K. R. Apriani and K. W. Astuti, "Dampak Resistensi Antibiotik terhadap Kesehatan Masyarakat di Negara Berkembang dan Upaya Pencegahannya untuk Meningkatkan Kualitas Kesehatan Global," *Praba: Jurnal Rumpun Kesehatan Umum*, vol. 3, pp. 25–40, Sep. 2025, doi: [10.62027/praba.v3i3.492](https://doi.org/10.62027/praba.v3i3.492).
- [3] K. N. Hidayati et al., "Skrining dan Edukasi pada Warga Binaan Sebagai Upaya Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Tuberkulosis Paru Melalui Kegiatan Active Case Finding," *Jurnal Pengabdian Komunitas*, vol. 2, pp. 24–35, Dec. 2023.
- [4] I. G. A. M. Aryasih, I. N. Sujaya, and I. W. Jana, "Efektifitas Model Program 'SAPA TBC' Dalam Penanggulangan TBC Paru Di Kabupaten Badung Provinsi Bali," *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, vol. 14, no. 2, pp. 45–53, 2024, doi: [10.33992/jkl.v14i2.3868](https://doi.org/10.33992/jkl.v14i2.3868).
- [5] S. Maharani and W. R. Aryanta, "Dampak Buruk Polusi Udara Bagi Kesehatan Dan Cara Meminimalkan Risikonya," *Jurnal Ecocentrism*, vol. 3, no. 2, pp. 47–58, 2023, doi: [10.36733/jeco.v3i2.7035](https://doi.org/10.36733/jeco.v3i2.7035).
- [6] F. F. Rahmasari, F. Kurniasari, A. Bachtiar, and C. Candi, "Tinjauan Sistematis Dampak Perubahan Iklim terhadap Kejadian Penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD) di Asia Tenggara: Analisis Artikel Tahun 2016–2025," *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, vol. 4, no. 3, pp. 809–821, Aug. 2025, doi: [10.54259/sehatrakyat.v4i3.5441](https://doi.org/10.54259/sehatrakyat.v4i3.5441).
- [7] S. Sifriyani, M. Rasjid, D. Rosadi, S. Anwar, R. D. Wahyuni, and S. Jalaluddin, "Spatial-Temporal Epidemiology of COVID-19 Using a Geographically and Temporally Weighted Regression Model," *Symmetry (Basel)*, vol. 14, no. 4, Apr. 2022, doi: [10.3390/sym14040742](https://doi.org/10.3390/sym14040742).
- [8] M. Li and H. Yang, "Exploring Spatial-temporal Heterogeneity in New-type Urbanization's Impact on Health Expenditure: a GTWR Analysis," *Int. J. Health Geogr.*, vol. 24, no. 1, p. 26, Dec. 2025, doi: [10.1186/s12942-025-00413-x](https://doi.org/10.1186/s12942-025-00413-x).
- [9] F. F. Rahmasari, F. Kurniasari, A. Bachtiar, and C. Candi, "Tinjauan Sistematis Dampak Perubahan Iklim terhadap Kejadian Penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD) di Asia Tenggara: Analisis Artikel Tahun 2016–2025," *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, vol. 4, no. 3, pp. 809–821, Jul. 2025, doi: [10.54259/sehatrakyat.v4i3.5441](https://doi.org/10.54259/sehatrakyat.v4i3.5441).
- [10] D. Namuwali, "Karakteristik Demografi dan Kualitas Hidup Penderita TB

- Paru di Puskesmas Waingapu, Sumba Timur,” *Jurnal Penelitian Kesehatan Suara Forikes*, vol. 10, Apr. 2019. [Online]. Available: <http://forikes-ejournal.com/index.php/SF>
- [11] A. Praditya, P. R. Arum, and A. Fadlurohman, “Penerapan Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR) dalam Menganalisis Tingkat Pengangguran Terbuka di Indonesia,” in *Seminar Nasional Sains Data*, Semarang, 2025, pp. 326–335.
- [12] Musdalifah, Siswanto, and N. Ilyas, “Robust Spatial-Temporal Analysis of Toddler Pneumonia Cases and its Influencing Factors,” *Jurnal Varian*, vol. 6, no. 2, pp. 105–118, 2023, doi: [10.30812/varian.v6i1.2599](https://doi.org/10.30812/varian.v6i1.2599).
- [13] A. Belliani and A. Surwanti, “Optimization of Health Promotion in Preventing Pulmonary Tuberculosis in Bangka District Health Office,” *MPPKI*, vol. 4, pp. 361–367, Sep. 2021, doi: [10.31934/mppki.v2i3](https://doi.org/10.31934/mppki.v2i3).
- [14] Syukriah, “Menuju Indonesia Bebas Tuberkulosis (TB) 2020 Analisis SOAR Strategi Pengendalian yang Efektif di RSUD Tk Kabupaten KS,” *Jurnal Sosial dan Sains (SOSAINS)*, vol. 5, pp. 763–779, Apr. 2025.
- [15] Sofwatillah, Risnita, M. S. Jailani, and D. A. Saksitha, “Teknik Analisis Data Kuantitatif dan Kualitatif dalam Penelitian Ilmiah,” *Jurnal Genta Mulia*, vol. 15, pp. 79–91, 2024. [Online]. Available: <https://ejournal.stkipbbm.ac.id/index.php/gm>
- [16] V. Valentine *et al.*, “Penerapan Kurva Normal dalam Analisis Nilai Ujian Akhir Siswa Propinsi Kalimantan Tengah,” *Jurnal Ilmiah Informatika dan Komputer*, vol. 1, no. 2, pp. 157–162, Dec. 2024.
- [17] N. Astriawati, “Penerapan Analisis Regresi Linear Berganda Untuk Menentukan Pengaruh Pelayanan Pendidikan Terhadap Efektifitas Belajar Taruna di Akademis Maritim Yogyakarta,” *Jurnal Ilmu-ilmu Kemaritiman, Manajemen dan Transportasi*, vol. 17, pp. 22–27, Jul. 2016.
- [18] N. U. Martaningtyas, E. A. Septiyaningrum, and Z. Maulana, “Dampak Pelanggaran Asumsi Klasik Terhadap Kesalahan Inferensi dalam Ekonomi Ekono-metri,” *SYNERGY Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, vol. 1, no. 4, pp. 255–265, 2024. [Online]. Available: <https://e-journal.naurendigiton.com/index.php/sjim>
- [19] L. Febrianti, Y. Andriyana, and D. Y. Faidah, “Pemodelan dan Pemetaan Kejadian Pneumonia pada Balita di Kota Bandung Menggunakan Metode Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR),” *BIAStatistics*, no. 2, pp. 277–295, 2023.
- [20] N. Hanin, I. Meilandra, N. N. Debaraja, and R. Pertiwi, “Application of Geographically Weighted Regression for Modeling the Poverty Cases in Kalimantan, Indonesia,” *Jurnal Statistika dan Aplikasinya*, vol. 8, no. 1, pp. 1–16, Jun. 2024, doi: [10.21009/jsa.08101](https://doi.org/10.21009/jsa.08101).
- [21] C. R. Oktarina, J. Rizal, F. Faisal, Q. L. Tasyah, and S. C. Pratiwi, “Pemodelan IPM di Provinsi Bengkulu dengan Pendekatan Metode Geographically Weighted Regression dan Geographically Temporally Weighted Regression,” *Jurnal EurekaMatika*, vol. 12, no. 1, pp. 23–34, May 2024. [Online]. Available: <https://ejournal.upi.edu/index.php/JEM>
- [22] I. F. N. Ilahi, E. Ferdiansyah, and F. Arifianto, “Pendugaan PM2.5 Menggunakan Metode Geographically Temporally Weighted Regression di DKI Jakarta,” *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 22, no. 6, pp. 1435–1440, Nov. 2024, doi: [10.14710/jil.22.6.1435-1440](https://doi.org/10.14710/jil.22.6.1435-1440).
- [23] A. Fauzan, F. Salsabila, F. R. H., M. P. Meilina, and V. R. S. P., “Pemetaan LST dan AST di Universitas Indonesia dan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia dengan Remote Sensing,” *Jurnal Geografi*, vol. 20, pp. 1–16, Dec. 2024.