



Pemodelan Kejadian Penyakit Tuberkulosis di Provinsi Jawa Barat Tahun 2023 Menggunakan Metode *Geographically Weighted Negative Binomial Regression* (GWNBR)

Ratu Bunga Prawesti Arie Salim¹, Gangga Anuraga^{1*}

¹ Program Studi Statistika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas PGRI Adi Buana, Surabaya
g.anuraga@unipasby.ac.id

Abstract

*Tuberculosis (TB) is the leading cause of death due to infection by the bacteria *Mycobacterium tuberculosis*, which can attack the lungs and other organs. Reducing TB rates is one of the main targets in the Sustainable Development Goals (SDGs). In 2023, Indonesia will be ranked second in the world for TB cases after India, with West Java Province as one of the main contributors experiencing a significant increase, namely 160,966 cases in the productive age group (≥ 15 years) and 50,993 cases in the children's group (0–14 years). This study aims to analyze the factors that influence the number of TB cases in West Java Province in the productive age group using the *Geographically Weighted Negative Binomial Regression* (GWNBR) method, which considers spatial aspects between regions and is able to handle overdispersion problems in count data. The six independent variables tested include population density, percentage of public places that meet health requirements, number of hospitals, percentage of the population who smoke, air quality index, and number of HIV sufferers. The modeling results using the GWNBR method with Fixed Kernel Gaussian weighting produced ten regional groups, each with different risk factor characteristics for the number of TB cases.*

Keywords: *Tuberculosis; Geographically Weighted Negative Binomial Regression; Overdispersion; SDGs 2030*

Abstrak

Tuberkulosis (TBC) merupakan penyebab kematian tertinggi akibat infeksi bakteri *Mycobacterium tuberculosis*, yang dapat menyerang paru-paru maupun organ lainnya. Penurunan angka TBC menjadi salah satu target utama dalam Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs). Pada tahun 2023, Indonesia menempati peringkat kedua kasus TBC terbanyak di dunia setelah India, dengan Provinsi Jawa Barat sebagai salah satu kontributor utama yang mengalami peningkatan signifikan, yaitu sebanyak 160.966 kasus pada kelompok usia produktif (≥ 15 tahun) dan 50.993 kasus pada kelompok anak-anak (0–14 tahun). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi jumlah kasus TBC di Provinsi Jawa Barat pada kelompok usia produktif menggunakan metode *Geographically Weighted Negative Binomial Regression* (GWNBR), yang mempertimbangkan aspek spasial antarwilayah serta mampu menangani permasalahan *overdispersion* pada data *count*. Enam variabel independen yang diuji meliputi kepadatan penduduk, persentase tempat umum yang memenuhi syarat kesehatan, jumlah rumah sakit, persentase penduduk yang merokok, indeks kualitas udara, dan jumlah penderita HIV. Hasil pemodelan menggunakan metode GWNBR dengan pembobot *Fixed Kernel*

Gaussian menghasilkan sepuluh kelompok wilayah, masing-masing dengan karakteristik faktor risiko yang berbeda terhadap jumlah kasus TBC.

Kata Kunci: Tuberkulosis; *Geographically Weighted Negative Binomial Regression*; *Overdispersi*; SDGs 2030.

1. PENDAHULUAN

Tuberkulosis (TBC) merupakan penyakit menular yang masih menjadi masalah kesehatan masyarakat, baik secara global maupun di Indonesia. Penyakit ini disebabkan oleh *Mycobacterium tuberculosis* yang menyerang paru-paru maupun organ lain (Putri et al., 2024). Secara global, pada tahun 2022 diperkirakan terdapat 10,6 juta kasus TBC dengan 1,4 juta kematian, menjadikannya salah satu dari sepuluh penyebab kematian tertinggi (Kemenkes RI, 2022). Meski terjadi penurunan insidensi sebesar 1,6% per tahun, angka ini masih jauh dari target WHO sebesar 4–5%. Sebagai bagian dari upaya global, penurunan angka TBC menjadi target SDGs 2030 dengan tiga tujuan utama yaitu menghapus biaya katastrofik, menurunkan angka kematian hingga 90%, dan mengurangi insidensi TBC sebesar 80% dibandingkan tahun 2015 (Kanmani et al., 2024).

Di Indonesia, TBC masih menjadi masalah serius. Indonesia menempati peringkat kedua dalam jumlah kasus TBC terbanyak di dunia setelah India, diikuti oleh Tiongkok (WHO, 2023). Tren peningkatan kasus TBC terus terjadi dari tahun ke tahun, dengan jumlah kasus yang dilaporkan meningkat dari 677.464 kasus pada tahun 2022 menjadi 821.200 kasus pada tahun 2023 (Kemenkes RI, 2023). Pada tingkat provinsi, Jawa Barat yang merupakan provinsi dengan jumlah penduduk terbesar di Indonesia mencatat jumlah kasus TBC tertinggi, yaitu sebanyak 211.959 kasus pada tahun 2023, meningkat sebesar 31,9% dibandingkan tahun sebelumnya. Dari jumlah tersebut, sebanyak 160.966 kasus terjadi pada kelompok usia produktif (15 tahun ke atas), sedangkan 50.993 kasus tercatat pada kelompok usia anak-anak 0 hingga 14 tahun (Dinkes Provinsi Jawa Barat, 2023).

Penyakit TBC dipengaruhi oleh berbagai faktor. Pertama, kepadatan penduduk yang tinggi meningkatkan risiko penularan akibat interaksi sosial yang intens (Kasaluhe, 2021). Kedua, akses terhadap fasilitas kesehatan mempermudah deteksi dan pengobatan dini (Kusuma et al., 2019). Ketiga, kebiasaan merokok melemahkan sistem imun dan meningkatkan kerentanan terhadap TBC (Rosyid, 2023). Keempat, polusi udara seperti PM10 dan PM2.5 turut memperbesar risiko infeksi (Suryanto et al., 2023). Kelima, lingkungan sehat dengan ventilasi baik dan kebersihan yang terjaga penting untuk pencegahan (Suharyoto, 2018). Terakhir, penderita HIV lebih rentan terhadap TBC karena penurunan imunitas (Cahyati, 2019). Berdasarkan hal tersebut, diperlukan pemodelan yang tepat untuk mengidentifikasi variabel prediktor yang memengaruhi jumlah kasus TBC di Jawa Barat.

Jumlah kasus TBC di Provinsi Jawa Barat secara statistik merupakan data *count* yang umumnya mengikuti distribusi Poisson, namun sering mengalami *overdispersi*, yaitu kondisi ketika varians melebihi rata-rata, sehingga model regresi Poisson menjadi

kurang tepat digunakan (Pratama & Wulandari, 2015; Zeanova et al., 2024). Untuk mengatasi hal ini, regresi Binomial Negatif digunakan karena lebih fleksibel dalam menangani data dengan variasi besar. Selain itu, penyebaran TBC dipengaruhi oleh faktor geografis yang berbeda antarwilayah, menyebabkan adanya heterogenitas spasial, yaitu perbedaan pengaruh variabel bebas di setiap lokasi (Dewi et al., 2020). Oleh karena itu, pendekatan spasial seperti *Geographically Weighted Negative Binomial Regression* (GWNBR) menjadi relevan, karena tidak hanya mampu mengatasi *overdispersi* tetapi juga memungkinkan estimasi parameter secara lokal di tiap wilayah, sehingga mampu menangkap variasi geografis dalam penyebaran TBC.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Putri et al. (2024), Putri & Rifai (2023), serta Nisa et al. (2020) menggunakan metode GWNBR untuk menganalisis kasus TBC. Namun, ketiga penelitian tersebut menggunakan data populasi secara keseluruhan tanpa mempertimbangkan perbedaan antar kelompok usia, padahal setiap kelompok memiliki karakteristik dan tingkat risiko yang berbeda. Selain itu, fungsi pembobot yang digunakan terbatas pada *Fixed Gaussian Kernel*, *Adaptive Gaussian Kernel*, dan *Adaptive Bi-square Kernel*. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, studi ini memfokuskan analisis pada kelompok usia produktif yang mencatat jumlah kasus tertinggi di Provinsi Jawa Barat. Penelitian ini juga menerapkan variasi fungsi pembobot yang lebih luas, yaitu *Fixed Gaussian*, *Fixed Bi-square*, *Fixed Tricube*, *Adaptive Gaussian*, *Adaptive Bi-square*, dan *Adaptive Tricube Kernel*, guna memperoleh hasil estimasi yang lebih akurat.

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan penelitian untuk mengidentifikasi variabel prediktor yang memengaruhi jumlah kasus TBC pada kelompok usia produktif di setiap kabupaten/kota di Provinsi Jawa Barat. Selanjutnya, akan dilakukan pemetaan wilayah berdasarkan variabel signifikan yang diperoleh melalui analisis menggunakan metode GWNBR. Dengan demikian, upaya penanggulangan dapat dilakukan secara lebih efektif melalui pemahaman faktor-faktor yang berpengaruh di tiap wilayah, serta mendukung pencapaian target *Sustainable Development Goals* (SDGs) 2030.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Geographically Weighted Negative Binomial Regression* (GWNBR) dengan data sekunder yang diperoleh dari situs resmi Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Jawa Barat serta berbagai publikasi, antara lain Profil Kesehatan Provinsi Jawa Barat 2023, Statistik Kesejahteraan Rakyat 2023, Jawa Barat dalam Angka 2024, dan Laporan Kinerja Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara 2023. Unit observasi dalam penelitian ini mencakup 27 wilayah di Provinsi Jawa Barat, yang terdiri atas 18 kabupaten dan 9 kota. Variabel yang digunakan meliputi satu variabel dependen, yaitu jumlah kasus Tuberkulosis (Y), dan enam variabel independen, yaitu kepadatan penduduk (X_1), persentase tempat umum yang memenuhi syarat kesehatan (X_2), jumlah rumah sakit (X_3), persentase penduduk yang merokok (X_4), indeks

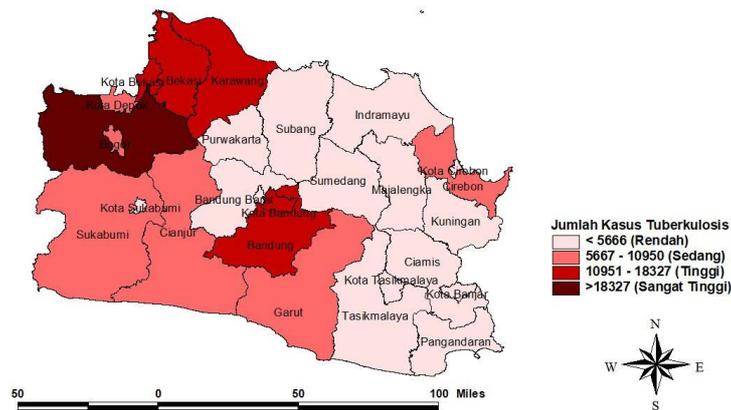
kualitas udara (X_5), dan jumlah penderita HIV (X_6). Adapun tahapan analisis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Melakukan pemetaan wilayah dengan menggunakan peta tematik untuk mengetahui persebaran kasus Tuberkulosis di Kabupaten/Kota Provinsi Jawa Barat.
2. Melakukan pemeriksaan kasus multikolinearitas dengan menggunakan kriteria VIF.
3. Menguji distribusi variabel respon (Y) menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov* untuk mengetahui kesesuaian dengan distribusi Binomial Negatif.
4. Melakukan pengujian *overdispersi* pada model regresi Poisson.
5. Melakukan pemodelan regresi Binomial Negatif untuk mengatasi *overdispersi*, serta menguji signifikansi parameter secara serentak dan parsial.
6. Melakukan pengujian heterogenitas spasial menggunakan uji *Breusch-Pagan*.
7. Melakukan pemodelan GWNBR pada kasus jumlah kasus Tuberkulosis di Provinsi Jawa Barat tahun 2023 dengan tahapan analisis sebagai berikut.
 - a. Menghitung jarak *Euclidean* pada tiap lokasi pengamatan berdasarkan titik geografis.
 - b. Mendapatkan nilai *bandwith* optimal untuk setiap lokasi pengamatan menggunakan *Cross Validation* (CV).
 - c. Menghitung matriks pembobot menggunakan fungsi kernel terpilih pada langkah 7b.
 - d. Melakukan pengujian kesamaan antara model GWNBR dengan model regresi negatif binomial.
 - e. Menguji signifikansi parameter model GWNBR secara serentak dan parsial.
 - f. Melakukan interpretasi model GWNBR.
8. Melakukan pemilihan model antara model regresi Binomial Negatif dan model GWNBR berdasarkan nilai AIC.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Persebaran Kasus Tuberkulosis di Provinsi Jawa Barat Tahun 2023

Provinsi Jawa Barat mencatat jumlah kasus Tuberkulosis sebanyak 821.200 kasus, menjadikannya sebagai provinsi dengan jumlah kasus tertinggi di Indonesia pada tahun 2023. Gambar 1 di bawah ini menyajikan persebaran jumlah kasus Tuberkulosis di masing-masing kabupaten/kota di Provinsi Jawa Barat pada tahun 2023.



Gambar 1. Peta persebaran Jumlah Kasus Tuberkulosis provinsi jawa barat tahun 2023

Gambar 1 menunjukkan bahwa Kabupaten Bogor merupakan satu-satunya wilayah dengan kategori sangat tinggi, yaitu mencatat 27.690 kasus. Kategori tinggi, dengan jumlah kasus antara 10.951 hingga 18.327, mencakup lima kabupaten/kota seperti Kabupaten Bandung, Kabupaten Karawang, dan Kota Bekasi. Kategori sedang, dengan 5.667 hingga 10.950 kasus, meliputi delapan wilayah, antara lain Kabupaten Purwakarta, Kabupaten Subang, dan Kota Depok. Sementara itu, kategori rendah, dengan jumlah kasus di bawah 5.666, mencakup 13 kabupaten/kota termasuk Kabupaten Pangandaran, Kota Banjar, dan Kabupaten Sumedang.

3.2 Pemeriksaan Multikolinieritas

Pemeriksaan multikolinieritas dilakukan sebelum analisis regresi untuk mengidentifikasi adanya korelasi antar variabel prediktor dalam model. Indikasi multikolinieritas dapat diketahui melalui nilai *Variance Inflation Factor* (VIF). Hasil analisis disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai VIF Variabel Prediktor

| Variabel | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | X ₆ |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| VIF | 1,85 | 1,34 | 8,97 | 1,50 | 2,35 | 6,37 |

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai VIF dari masing-masing variabel prediktor kurang dari 10, sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi multikolinieritas pada variabel independen. Oleh karena itu, seluruh variabel independen dapat digunakan untuk analisis lanjutan dalam pemodelan regresi.

3.3 Pengujian Distribusi Binomial Negatif

Setelah dilakukan pemeriksaan multikolinieritas antar variabel prediktor, analisis dilanjutkan pada tahap pengujian distribusi data menggunakan metode *Kolmogorov-Smirnov*. Berdasarkan hasil uji tersebut, diperoleh nilai *p-value* 0,657 > 0,1, sehingga

gagal tolak H_0 . Artinya, data kasus Tuberkulosis di Jawa Barat mengikuti distribusi Binomial Negatif, dan analisis dilanjutkan ke pemeriksaan overdispersi.

3.4 Pemeriksaan Overdispersi dengan Regresi Poisson

Setelah dilakukan pengujian terhadap distribusi variabel respon, tahap selanjutnya adalah pemeriksaan *overdispersi*. Pemeriksaan ini dilakukan dengan melihat rasio nilai devians dengan derajat bebasnya pada model regresi Poisson. Diketahui bahwa nilai devians sebesar 25.384 dan derajat kebebasan sebesar 20, sehingga rasio yang diperoleh adalah 1.269,2. Nilai tersebut lebih besar dari 1 yang artinya data jumlah kasus Tuberkulosis mengalami kasus *overdispersi*.

3.5 Pemodelan Regresi Binomial Negatif

Setelah diketahui bahwa terdapat overdispersi dalam data, langkah selanjutnya adalah memodelkan jumlah kasus Tuberkulosis di Provinsi Jawa Barat tahun 2023 menggunakan regresi Binomial Negatif. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE). Hasil estimasi parameter dari model regresi Binomial Negatif disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Estimasi Parameter Model Regresi Binomial Negatif

| Parameter | Estimasi | Z Hitung | P-Value | Keputusan | Kesimpulan |
|-----------|--------------|----------|---------|-------------------|------------------|
| β_0 | 7,252 | 5,371 | 0,000 | Tolak H_0 | Signifikan |
| β_1 | 0,0000001564 | 0,007 | 0,995 | Gagal Tolak H_0 | Tidak Signifikan |
| β_2 | -0,008856 | -1,266 | 0,205 | Gagal Tolak H_0 | Tidak Signifikan |
| β_3 | 0,003935 | 0,237 | 0,813 | Gagal Tolak H_0 | Tidak Signifikan |
| β_4 | 0,01327 | 1,321 | 0,186 | Gagal Tolak H_0 | Tidak Signifikan |
| β_5 | 0,004984 | 0,366 | 0,715 | Gagal Tolak H_0 | Tidak Signifikan |
| β_6 | 0,002144 | 2,968 | 0,003 | Tolak H_0 | Signifikan |
| Devians | 27,709 | | | | |

Hasil estimasi parameter kemudian dilakukan pengujian secara serentak dan parsial. Pengujian serentak parameter regresi Binomial Negatif dengan hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_6 = 0$$

$$H_1 : \text{Paling sedikit ada satu } \beta_j \neq 0; j = 1, 2, \dots, 6$$

Hasil statistik uji pada Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai devians dari regresi Binomial Negatif adalah 27,709. Dengan taraf signifikansi 10%, diperoleh nilai $\chi^2_{(6;0,1)}$ sebesar 10,645. Karena nilai devians $> \chi^2_{(6;0,1)}$, maka H_0 ditolak. Hal tersebut menunjukkan bahwa paling sedikit terdapat satu variabel independen yang berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen. Langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian parameter secara parsial. Hipotesis yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut.

$$H_0 : \beta_j = 0$$

$$H_1 : \beta_j \neq 0; j = 1, 2, \dots, 6$$

Hasil statistik uji parameter secara parsial dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan hasil pengujian pada taraf signifikansi 10%, variabel X_6 memiliki nilai $p\text{-value} < 0,1$ dan nilai $|Z_{hitung}| > Z_{(0,1/2)} = 1,645$. Oleh karena itu, keputusan yang diambil adalah H_0 ditolak. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hanya satu variabel independen yang berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen, yaitu indeks kualitas udara (X_6). Model yang didapatkan dari hasil regresi Binomial Negatif adalah sebagai berikut.

$$\hat{\mu} = \exp \left(\begin{array}{l} 7,252 + 0,0000001564X_1 - 0,008856X_2 + 0,003935X_3 \\ + 0,01327X_4 + 0,004984X_5 + 0,002144X_6 \end{array} \right)$$

3.6 Pengujian Heterogenitas Spasial

Sebelum melakukan analisis *Geographically Weighted Negative Binomial Regression* (GWNBR), dilakukan pengujian heterogenitas spasial menggunakan uji *Breusch-Pagan*. Hipotesis yang digunakan dalam pengujian tersebut adalah sebagai berikut.

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_{27}^2 = \sigma^2$$

$$H_1 : \text{Paling sedikit ada satu } \sigma_i^2 \neq \sigma^2, i = 1, 2, \dots, 27$$

Hasil statistik uji *Breusch Pagan* didapatkan nilai BP sebesar 12,411 dan $p\text{-value}$ sebesar 0,053. Dengan jumlah parameter sebanyak 6 dan taraf signifikansi $\alpha = 10\%$, diperoleh nilai $\chi^2_{(6,0,1)}$ sebesar 10,645. Karena nilai BP $> \chi^2_{(6,0,1)}$ dan $p\text{-value} < \alpha$, maka H_0 ditolak. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat heterogenitas spasial pada data pengamatan.

3.7 Pemodelan Geographically Weighted Negative Binomial Regression (GWNBR)

Sebelum melakukan pemodelan *Geographically Weighted Negative Binomial Regression* (GWNBR) terlebih dahulu menghitung jarak *Euclidean* antar lokasi berdasarkan nilai *Longitude* dan *Latitude* pada tiap kabupaten/kota di Provinsi Jawa Barat. Hasil perhitungan jarak *Euclidean* kemudian digunakan untuk menentukan *bandwidth* optimum, yang selanjutnya digunakan dalam perhitungan matriks pembobot. Matriks pembobot dihitung berdasarkan fungsi kernel yang digunakan. Penentuan *bandwidth* optimum berdasarkan nilai *Cross Validation* (CV) disajikan pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Nilai CV

| Fungsi Kernel | Nilai CV |
|--------------------------|-------------|
| <i>Adaptive Bisquare</i> | 172.765.497 |
| <i>Fixed Bisquare</i> | 146.972.354 |

| Fungsi Kernel | Nilai CV |
|--------------------------|-------------|
| <i>Adaptive Gaussian</i> | 160.474.430 |
| <i>Fixed Gaussian</i> | 127.584.391 |
| <i>Adaptive Tricube</i> | 175.736.692 |
| <i>Fixed Tricube</i> | 148.159.089 |

Tabel 3 menunjukkan bahwa fungsi kernel *fixed Gaussian* menghasilkan nilai CV yang lebih rendah dibandingkan fungsi kernel lainnya, sehingga fungsi kernel yang digunakan adalah fungsi kernel *fixed Gaussian* untuk menghitung nilai pembobot spasial. Hasil pembobot kemudian digunakan untuk melakukan estimasi parameter model GWNBR.

Pengujian pertama adalah melakukan uji kesamaan model dengan regresi Negatif Binomial. Hipotesis yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut.

$$H_0 : \beta_j(u_i, v_i) = \beta_j; i=1,2,\dots,27; j=1,2,\dots,6$$

$$H_1 : \beta_j(u_i, v_i) \neq \beta_j$$

Hasil statistik uji didapatkan nilai $F_{hitung} (103,415) > F_{(0,1;20;20)} (1,794)$, sehingga H_0 ditolak. Maka dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara model regresi Binomial Negatif dengan model GWNBR. Tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian signifikansi parameter secara serentak. Hipotesis yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut.

$$H_0 : \beta_1(u_i, v_i) = \beta_2(u_i, v_i) = \dots = \beta_6(u_i, v_i) = 0; i=1,2,\dots,27$$

$$H_1 : \text{Paling sedikit ada satu } \beta_j(u_i, v_i) \neq 0; j=1,2,\dots,6; i=1,2,\dots,27$$

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai devians model GWNBR sebesar 41.106,17. Dengan taraf signifikansi 10%, nilai $\chi^2_{(6;0,1)}$ yang digunakan adalah 10,645. Karena nilai devians $> \chi^2_{(6;0,1)}$, maka H_0 ditolak. Sehingga dapat disimpulkan bahwa paling sedikit terdapat satu variabel independen yang berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen. Tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian signifikansi parameter secara parsial. Hipotesis yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut.

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

$$H_1 : \beta_j(u_i, v_i) \neq 0; j=1,2,\dots,6; i=1,2,\dots,27$$

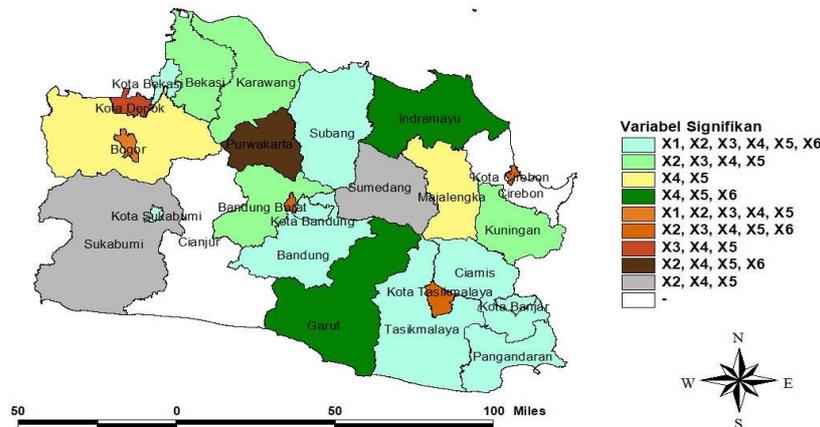
Hasil statistik uji $|Z_{hitung}|$ kemudian dibandingkan dengan nilai $Z_{(0,1/2)} = 1,645$. Jika nilai $|Z_{hitung}| > 1,645$ maka H_0 ditolak dan variabel tersebut berpengaruh signifikan terhadap model pada lokasi tersebut. Hasil uji parsial menunjukkan bahwa signifikansi parameter berbeda-beda di setiap kabupaten/kota di Provinsi Jawa Barat. Berdasarkan hasil tersebut, wilayah dikelompokkan ke dalam beberapa kelompok berdasarkan variabel yang signifikan, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengelompokan Kabupaten/Kota Berdasarkan Variabel yang Signifikan dengan

Metode GWNBR

| Kelompok | Jumlah | Kabupaten/Kota | Variabel Signifikan |
|----------|--------|---|---|
| 1 | 9 | Kabupaten Bogor, Kabupaten Garut, Kabupaten Sumedang, Kabupaten Indramayu, Kabupaten Subang, Kabupaten Pangandaran, Kota Cirebon, Kota Depok, Kota Banjar | X ₁ , X ₂ , X ₃ , X ₄ , X ₅ , X ₆ |
| 2 | 4 | Kabupaten Sukabumi, Kabupaten Cianjur, Kabupaten Majalengka, Kota Sukabumi | X ₂ , X ₃ , X ₄ , X ₅ |
| 3 | 2 | Kabupaten Bandung, Kota Bandung | X ₄ , X ₅ |
| 4 | 2 | Kabupaten Kuningan, Kabupaten Cirebon | X ₄ , X ₅ , X ₆ |
| 5 | 1 | Kabupaten Purwakarta | X ₁ , X ₂ , X ₃ , X ₄ , X ₅ |
| 6 | 3 | Kabupaten Karawang, Kabupaten Bekasi, Kota Bogor | X ₂ , X ₃ , X ₄ , X ₅ , X ₆ |
| 7 | 1 | Kabupaten Bandung Barat | X ₃ , X ₄ , X ₅ |
| 8 | 1 | Kota Bekasi | X ₂ , X ₄ , X ₅ , X ₆ |
| 9 | 2 | Kota Cimahi, Kota Tasikmalaya | X ₂ , X ₄ , X ₅ |
| 10 | 2 | Kabupaten Tasikmalaya, Kabupaten Ciamis | - |

Secara garis besar, terdapat sepuluh kelompok kabupaten/kota yang memiliki kesamaan variabel signifikan. Kesepuluh kelompok tersebut disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengelompokan Kabupaten/ Kota di Provinsi Jawa Barat berdasarkan Variabel yang Signifikan

Gambar 2 menunjukkan bahwa terdapat dua kabupaten/kota yang tidak memiliki variabel signifikan sama sekali. Variabel persentase penduduk yang merokok (X₄) dan indeks kualitas udara (X₅) merupakan variabel yang paling banyak signifikan di berbagai kabupaten/kota. Setelah variabel signifikan di masing-masing daerah diperoleh, langkah selanjutnya adalah memodelkan jumlah kasus Tuberkulosis pada setiap lokasi. Sebagai contoh, hasil estimasi parameter pada lokasi pengamatan ke-17 (Kabupaten Bandung Barat) disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Estimasi Parameter Model GWNBR di Kabupaten Bandung Barat

| Parameter | Estimasi | Z hitung | Keputusan | Kesimpulan |
|-----------|-----------|----------|-------------------|------------------|
| β_0 | 0,000144 | 7,942 | Tolak H_0 | Signifikan |
| β_1 | 0,000002 | 0,609 | Gagal Tolak H_0 | Tidak Signifikan |
| β_2 | 0,000340 | 0,297 | Gagal Tolak H_0 | Tidak Signifikan |
| β_3 | -0,003918 | -3,871 | Tolak H_0 | Signifikan |
| β_4 | 0,003715 | 6,489 | Tolak H_0 | Signifikan |
| β_5 | 0,011718 | 7,077 | Tolak H_0 | Signifikan |
| β_6 | 0,000093 | 1,542 | Gagal Tolak H_0 | Tidak Signifikan |
| θ | 6,407219 | | | |

Tabel 5 menunjukkan bahwa terdapat tiga variabel yang berpengaruh signifikan terhadap jumlah kasus Tuberkulosis di Kabupaten Bandung Barat. Variabel tersebut adalah jumlah rumah sakit (X_3), persentase penduduk yang merokok (X_4), dan indeks kualitas udara (X_5). Model persamaan GWNBR pada Kabupaten Bandung Barat adalah sebagai berikut.

$$\hat{\mu}_{17} = \exp \left(\begin{array}{l} 0,000144 + 0,000002X_{17,1} + 0,000340X_{17,2} - 0,003918X_{17,3} \\ + 0,003715X_{17,4} + 0,011718X_{17,5} + 0,000093X_{17,6} \end{array} \right)$$

Hasil model GWNBR pada Kabupaten Bandung Barat yang terbentuk dapat disimpulkan bahwa setiap penambahan 1 unit jumlah rumah sakit (X_3) akan menurunkan rata-rata jumlah kasus TBC sebesar $\exp(-0,003918) = 0,9961 \approx 1$ kasus, dengan asumsi variabel lainnya konstan. Hal ini dapat menunjukkan bahwa bertambahnya jumlah rumah sakit dapat membantu menekan jumlah kasus TBC, mungkin melalui peningkatan layanan pencegahan, pengobatan, dan edukasi kepada masyarakat. Setiap penambahan 1 persen penduduk yang merokok (X_4) akan menambah rata-rata jumlah kasus TBC sebesar $\exp(0,003715) = 1,0037 \approx 1$ kasus. Ini konsisten dengan literatur yang menyatakan bahwa merokok meningkatkan risiko TBC karena merusak sistem pernapasan. Setiap penambahan 1 poin indeks kualitas udara (X_5) akan menambah rata-rata jumlah kasus TBC sebesar $\exp(0,011718) = 1,0118 \approx 1$ kasus. Hal ini bisa menunjukkan bahwa wilayah dengan sistem monitoring dan pelaporan yang lebih baik (yang biasanya juga memiliki indeks kualitas udara lebih tinggi) cenderung mendeteksi lebih banyak kasus TBC.

3.8 Pemilihan Model Terbaik

Pemilihan model terbaik ditentukan berdasarkan nilai AIC. Nilai AIC dari model yang terbentuk disajikan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Nilai AIC

| Metode | AIC |
|--------------------------|---------|
| Regresi Binomial Negatif | 513,940 |
| GWNBR | 510,109 |

Tabel 6 menunjukkan bahwa model GWNBR memiliki nilai AIC yang lebih rendah dibandingkan model regresi Binomial Negatif, sehingga model GWNBR lebih baik dalam memodelkan faktor-faktor yang memengaruhi jumlah kasus Tuberkulosis di Provinsi Jawa Barat pada tahun 2023.

4. SIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, Provinsi Jawa Barat tercatat memiliki jumlah kasus Tuberkulosis sebesar 821.200 kasus, dengan Kabupaten Bogor sebagai wilayah dengan kasus tertinggi, yaitu 27.690 kasus. Sebaran kasus menunjukkan variasi yang signifikan antar daerah, mulai dari kategori sangat tinggi hingga rendah. Hasil pemodelan *Geographically Weighted Negative Binomial Regression* (GWNBR) dengan fungsi pembobot kernel *fixed Gaussian* mengelompokkan wilayah ke dalam 10 kelompok berdasarkan variabel yang signifikan. Di antara variabel yang dianalisis, persentase penduduk yang merokok (X_4) dan indeks kualitas udara (X_5) merupakan variabel yang paling sering muncul sebagai faktor signifikan di sebagian besar kabupaten/kota.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Dosen Pembimbing yang telah memberikan kontribusi berharga selama proses penelitian, baik dalam pemilihan judul, pelaksanaan penelitian, maupun evaluasi artikel yang diajukan untuk pertimbangan publikasi. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh rekan-rekan yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama pelaksanaan penelitian ini.

6. REKOMENDASI

Pada penelitian selanjutnya, disarankan untuk menambahkan variabel prediktor lain yang relevan dan berpengaruh terhadap jumlah kasus Tuberkulosis di Provinsi Jawa Barat. Penambahan variabel-variabel tersebut diharapkan dapat memperluas cakupan analisis serta memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai faktor-faktor risiko yang memengaruhi penyebaran Tuberkulosis.

7. REFERENSI

- Cahyati, W. H. (2019). Determinan kejadian tuberkulosis pada orang dengan HIV/AIDS. *HIGEIA (Journal of Public Health Research and Development)*, 3(2), 168–178. <https://doi.org/10.15294/higeia.v3i2.24857>
- Dewi, N. K. A., Sukarsa, I. K. G., & Srinadi, I. G. A. M. (2020). Faktor-faktor yang memengaruhi penyebaran penyakit tuberkulosis (TBC) di provinsi Jawa Barat. *E-Jurnal Matematika*, 9(3), 165–170. <https://doi.org/10.24843/MTK.2020.v09.i03.p294>
- Dinas Kesehatan Provinsi Jawa Barat. (2023). *Profil Kesehatan Jawa Barat 2023*. Bandung: Dinas Kesehatan Provinsi Jawa Barat.
- Kanmani, S., Bincy, K., & Logaraj, M. (2024). Assessing the social burden of tuberculosis and trends in TB targets: A focus on sustainable development goals. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 26, 101554. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2024.101554>

- Kasaluhe, M. D. (2021). *Tuberkulosis: Pemetaan sebaran kasus melalui pemanfaatan sistem informasi geografis*. Penerbit NEM.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2022). *Laporan tahunan program pengendalian Tuberkulosis Tahun 2022*. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2023). *Profil Kesehatan Indonesia 2023*. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI.
- Kusuma, S. A. K., Subroto, T., Parwati, I., & Rostinawati, T. (2019). Deteksi dini tuberkulosis sebagai upaya pencegahan penularan penyakit tuberkulosis dan pengolahan herbal antituberkulosis berbasis riset. *Dharmakarya: Jurnal Aplikasi Ipteks untuk Masyarakat*, 8(2), 124–129.
- Nisa, C., Aidi, M. N., & Sumertajaya, I. M. (2020). Geographically weighted negative binomial regression modeling of tuberculosis cases with distribution evaluation. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology (IJSRSET)*, 7(4), 279–285. <https://doi.org/10.32628/IJSRSET1207473>
- Pratama, W., & Wulandari, S. P. (2015). Pemetaan dan pemodelan jumlah kasus penyakit tuberkulosis (TBC) di Provinsi Jawa Barat dengan pendekatan geographically weighted negative binomial regression (GWNBR). *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 4(1), D37–D42. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v4i1.8844>
- Putri, D. R., Fathurahman, M., & Suyitno, S. (2024). Pemodelan jumlah kasus tuberkulosis paru di Indonesia dengan geographically weighted negative binomial regression. *Ekspansional*, 15(1), 49–61. <https://doi.org/10.30872/ekspansional.v15i1.1303>
- Putri, H. A., & Rifai, N. A. K. (2023). Aplikasi metode geographically weighted negative binomial regression dalam pemodelan tuberkulosis paru di Provinsi Jawa Barat tahun 2019. In *Bandung Conference Series: Statistics*, 3(2), 436–446.
- Rosyid, M., Avicena Sakufa, M., No, J. T. P., & Taman, K. M. (2023). Hubungan kondisi fisik rumah dan kebiasaan merokok dengan kejadian tuberkulosis di wilayah kerja Puskesmas Banjarejo. *Jurnal Ilmu Kesehatan*, 11(2). <https://doi.org/10.32831/jik.v11i2.457>
- Suharyoto, S. (2018). A case control study: Physiological aspect of housing in the relationship with incidence of tuberculosis in Tulungagung District East Java. In *The 2nd Joint International Conferences* (Vol. 2, No. 02, pp. 653–657).
- Suyanto, S., Aulia, S., Ramli, E., & Chandra, F. (2023). Hubungan kadar polusi udara dengan kejadian tuberkulosis di Kota Pekanbaru tahun 2015 sampai dengan 2020. *Jurnal Ilmu Kedokteran (Journal of Medical Science)*, 17(1), 46–52. <https://doi.org/10.26891/JIK.v17i1.2023>
- World Health Organization. (2023). *Global Tuberculosis Report 2023*. Geneva: WHO.
- Zeanova, H., Taniwan, P., Putri, R. A., & Faidah, D. Y. (2024). Analisis faktor penyebab penyakit TBC di Jawa Barat menggunakan regresi binomial negatif. *Jurnal Lebesgue: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika dan Statistika*, 5(3), 2284–2302. <https://doi.org/10.46306/lb.v5i3.859>