

Pemodelan Kasus Tuberkulosis di Indonesia dengan Metode GWPR Guna Mendukung SDGs 2030

Toha Saifudin^{1*}, Mochamad Firmansyah², Johanna Tania Victory³, Mutiara Aisharezka⁴

^{1,2,3,4}Universitas Airlangga ; Kampus C, Jalan Dr. Ir. H. Soekarno, Surabaya, Jawa Timur

^{1,2,3,4}Program Studi Statistika Universitas Airlangga

*Corresponding author: tohasaifudin@fst.unair.ac.id

Diajukan: 6 Juni 2023, Diperbaiki: 20 Oktober 2024, Diterima: 20 Nopember 2024

Abstrak

Tuberkulosis (TB) merupakan penyakit penyebab kematian peringkat kedua setelah jantung coroner. Jenis bakteri Humanus dari *Mycobacterium tuberculosis* menyebabkan penyakit menular TB. Menurut WHO, pada tahun 2018 Indonesia memiliki jumlah kasus TB sebesar 8%, merupakan tertinggi ketiga setelah India (27%) dan China (9%). Oleh karena itu diperlukan upaya untuk menekan jumlah kasus dan angka kematian akibat TB, sejalan dengan upaya pencapaian poin 3 target 3 SDGs yaitu mengakhiri pandemi TB. Penelitian ini menggunakan pendekatan model *Geographically Weighted Poisson Regression* (GWPR) dengan tujuan untuk menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi TB, sehingga intervensi preventif untuk menurunkan kasus TB dapat dilakukan. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder berupa data jumlah kasus TB pada tahun 2018 yang diperoleh dari Kementerian Kesehatan (Kemenkes RI) dan Badan Pusat Statistik (BPS). Unit observasi berupa 34 provinsi di Indonesia. Berdasarkan nilai *Akaike Information Criteria* (AIC) terkecil, diperoleh model GWPR terbaik adalah dengan pembobot *Adaptive Bi-Square*. Tiap propinsi memiliki model yang berbeda. Model GWPR di Provinsi Jawa Barat yang memiliki jumlah kasus TB tertinggi di Indonesia adalah $\hat{y}_{11} = -10,737031 + 0,173015X_1 + 0,000371X_2 + 0,150145X_3 + 0,018743X_4 - 0,026359X_5$. Hasil analisis menunjukkan jumlah penduduk miskin memiliki pengaruh yang sangat signifikan di hampir seluruh provinsi di Indonesia. Sementara itu, dampak yang signifikan dapat terlihat pada proporsi rumah yang tidak layak huni dan persentase fasilitas pengolahan makanan yang tidak higienis (TPM). Pemerintah provinsi di Indonesia dapat mempertimbangkan hasil pemodelan dengan GWPR ini dalam merumuskan strategi untuk menurunkan jumlah penderita TB di wilayahnya..

Kata Kunci: Tuberkulosis, GWPR, *Adaptive Bi-Square*, AIC, poin 3 SDGs

Abstract

Tuberculosis (TB) is the second leading cause of death after coronary heart disease. The bacterium type Humanus of Mycobacterium tuberculosis causes the infectious illness TB. According to WHO, in 2018 Indonesia had 8% of TB cases, the third highest after India (27%) and China (9%). Therefore, efforts are needed to reduce the number of cases and deaths due to TB, in line with efforts to achieve point 3 of target 3 of the SDGs, namely ending the TB pandemic. This study uses the Geographically Weighted Poisson Regression (GWPR) model approach with the aim of analyzing the factors that influence TB, so that preventive interventions to reduce TB cases can be carried out. The data used in this study is secondary data in the form of data on the number of TB cases in 2018 obtained from the Ministry of Health (Kemenkes RI) and the Central Agency of Statistics (BPS). The observation unit is 34 provinces in Indonesia. Based on the smallest Akaike Information Criteria (AIC) value, the best GWPR model is obtained with Adaptive Bisquare weighting. Each province has a different model. The GWPR model in West Java Province which has the highest number of TB cases in Indonesia is $\hat{y}_{11} = -10,737031 + 0,173015X_1 + 0,000371X_2 + 0,150145X_3 + 0,018743X_4 - 0,026359X_5$. The results of the analysis show that the number of poor people has a very significant influence in almost all provinces in Indonesia. While this is going on, a considerable impact can be seen in the proportion of unfit homes and the percentage of

unsanitary food processing facilities (TPM). Provincial governments in Indonesia can consider the results of modeling with GWPR in formulating strategies to reduce the number of TB sufferers in their regions.

Keywords: Tuberculosis, GWPR, Adaptive Bi-Squar, AIC, point 3 of the SDGs

1 Pendahuluan

Sustainable Development Goals (SDGs) sebagai kesepakatan global memiliki 17 tujuan dan 169 sasaran [1]. Salah satu kesepakatannya mengacu pada tujuan 3 target ke 3 pada SDGs adalah mengakhiri pandemi Tuberkulosis (TB), yang menjadi dasar bagi dicetuskannya program berkelanjutan penanggulangan TB [2]. Secara global ditunjukkan munculnya paradigma baru tuberkulosis pada era *Sustainable Development Goals* (SDGs) yang menggantikan era *Millenium Development Goals* (MDGs).

Mycobacterium tuberculosis tipe *Humanus* adalah bakteri yang menyebabkan penyakit TB [3]. Menurut [4], 50% penderita tuberkulosis akan meninggal setelah 5 tahun. Hal ini menjadikan tuberkulosis sebagai penyebab kematian terbesar kedua setelah penyakit jantung koroner. Menurut [5], Indonesia memiliki jumlah kasus TB sebesar 8%, merupakan tertinggi ketiga setelah India (27%) dan China (9%). Oleh karena itu *urgent* dilakukan penelitian dalam upaya untuk menekan jumlah kasus dan angka kematian akibat TB

Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan dalam rangka untuk mencari faktor penyebab kasus TB. Menurut [6], jumlah penduduk miskin merupakan salah satu faktor yang diyakini mempengaruhi frekuensi kasus TB. Sementara itu, menurut [7] persentase rumah yang tidak layak huni, tempat pengolahan makanan (TPM) yang tidak memenuhi ketentuan kesehatan, dan persediaan air yang tidak terlindungi juga diduga berdampak. Penelitian yang mereka lakukan dengan pendekatan model global, tanpa memperhatikan aspek wilayah atau spasial.

Distribusi kasus TB berbeda-beda antar wilayah. Karakteristik wilayah juga berbeda antara satu dengan lainnya. Selain itu, TB merupakan penyakit menular yang penyebarannya dipengaruhi oleh mobilitas penduduk antar wilayah [8], sehingga terjadi pengaruh antar wilayah. Oleh karena itu, kasus TB selayaknya didekati dengan pemodelan spasial. Di sisi lain, karena kelangkaannya dan kemungkinan kejadiannya yang rendah, jumlah kejadian penyakit TB diperkirakan berdistribusi Poisson. Oleh karena itu, dalam penelitian ini ditawarkan kebaruan pendekatan yaitu dengan model *Geographically Weighted Poisson Regression* (GWPR) sebagai alat analisis spasial yang lebih spesifik dan adaptif terhadap kondisi lokal. Dengan model GWPR, akan diperoleh model yang berbeda antar wilayah (provinsi) di Indonesia. Model spasial tersebut dapat mengidentifikasi faktor-faktor sosial, ekonomi, dan lingkungan yang berdampak secara spesifik di masing-masing wilayah. Hasilnya diharapkan bisa membantu tiap pemerintah provinsi dalam menyusun kebijakan penanggulangan TB yang lebih tepat sasaran sesuai karakteristik lokal, dan

efektif untuk mencapai target SDGs 2030. Pendekatan ini juga diharapkan dapat memberikan wawasan baru dalam mengintegrasikan analisis spasial berbasis kesehatan masyarakat dengan tujuan pembangunan berkelanjutan.

2 Metode Penelitian

2.1 Model Regresi Poisson

Model regresi Poisson adalah bentuk hubungan fungsional antara variabel respon diskrit berdistribusi Poisson dengan variabel prediktor. Menurut [9], model regresi Poisson dapat dituliskan sebagai berikut:

$$E(y_i) = \exp(\mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\beta}) \quad (1)$$

dengan $\mathbf{x}_i = [1 \ x_{1i} \ x_{2i} \ \dots \ x_{ki}]^T$; $\boldsymbol{\beta} = [\beta_0 \ \beta_1 \ \beta_2 \ \dots \ \beta_k]^T$.

2.2 Geographically Weighted Poisson Regression

Geographically Weighted Poisson Regression (GWPR) adalah pengembangan dari model regresi Poisson yang memungkinkan koefisien regresi bervariasi antar lokasi geografis untuk menangkap heterogenitas spasial dalam data. Model GWPR dinyatakan dalam bentuk berikut [10]:

$$E(y_i) = \exp(\mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\beta}(u_i, v_i)) \quad (2)$$

dengan $\boldsymbol{\beta}(u_i, v_i)$ adalah parameter model di lokasi (u_i, v_i) yang diestimasi dengan mempertimbangkan fungsi pembobot Kernel. Adapun untuk ukuran kebaikan model digunakan *Akaike's Information Criteria* (AIC) yang dinyatakan sebagai

$$AIC = -2 \ln L(\hat{\boldsymbol{\beta}}(u_i, v_i)) + 2k \quad (3)$$

dengan k adalah banyaknya parameter. GWPR banyak digunakan dalam bidang epidemiologi untuk memodelkan distribusi spasial penyakit seperti TB dan menghasilkan kebijakan kesehatan yang lebih tepat sasaran [11].

2.3 Fungsi Pembobot Kernel

Konsep dalam pembobotan, wilayah-wilayah yang berdekatan secara geografis akan mempunyai nilai pembobot lebih tinggi dibanding wilayah-wilayah yang berjauhan secara geografis. Terdapat beberapa bentuk fungsi pembobot kernel ([12],[13]):

(a) Fungsi Kernel *Fixed Gaussian*

$$w_{ij}(u_i, v_i) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{d_{ij}}{h}\right)^2\right] \quad (4)$$

(b) Fungsi Kernel *Fixed Bi-Square*

$$w_j(u_i, v_i) = \begin{cases} \left[1 - \left(\frac{d_{ij}}{h}\right)^2\right]^2, & \text{jika } d_{ij} \leq h \\ 0, & \text{jika } d_{ij} > h \end{cases} \quad (5)$$

(c) Fungsi Kernel *Adaptive Gaussian*

$$w_j(u_i, v_i) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{d_{ij}}{h_i}\right)^2\right] \quad (6)$$

(d) Fungsi Kernel *Adaptive Bi-Square*

$$w_j(u_i, v_i) = \begin{cases} \left[1 - \left(\frac{d_{ij}}{h_i}\right)^2\right]^2, & \text{jika } d_{ij} \leq h \\ 0, & \text{jika } d_{ij} > h \end{cases} \quad (7)$$

dengan h adalah parameter bandwidth dan d_{ij} adalah jarak antara lokasi i dan j .

2.4 Golden Section Search

Golden Section Search adalah metode iterasi numerik yang digunakan untuk menentukan nilai yang mengoptimalkan (minimum atau maksimum) fungsi $f(x)$. Berikut prosedur *Golden Section Search* untuk menentukan nilai yang meminimumkan fungsi [14]:

- i. Tentukan interval awal, misal pilih a dan b , sehingga $a < b$, yang menjadi batas interval.
- ii. Tentukan nilai rasio emas: $\phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2} \approx 1,618$
- iii. Hitung dua titik pembagi dalam interval, yaitu: $x_1 = b - \frac{b-a}{\phi}$ dan $x_2 = a + \frac{b-a}{\phi}$.
- iv. Hitung nilai fungsi pada kedua titik yaitu $f(x_1)$ dan $f(x_2)$.
- v. Perbarui interval: jika $f(x_1) < f(x_2)$ maka $b = x_2$; jika $f(x_1) \geq f(x_2)$ maka $a = x_1$.
- vi. Ulangi langkah (iii) hingga (v) sampai panjang interval $|b - a| < \text{toleransi}$.
- vii. Hasil: nilai yang meminimumkan fungsi adalah $\frac{a+b}{2}$

2.5 Data dan Variabel

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder dalam penelitian ini berupa informasi jumlah kasus tuberkulosis dan variabel yang mempengaruhinya pada tahun 2018 diperoleh dari Kementerian Kesehatan (Kemenkes RI) dan Badan Pusat Statistik (BPS). Unit observasinya adalah 34 provinsi di Indonesia. Jenis variabel yang digunakan yaitu variabel respon dan variabel prediktor yang tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Notasi	Nama Variabel	Definisi Operasional	Satuan
Y	Jumlah Kasus Tuberkulosis	Jumlah penderita tuberkulosis di setiap provinsi.	Ribuan jiwa
X_1	Persentase Penduduk Usia Produktif (15-64 tahun)	Perbandingan antara jumlah penduduk usia produktif dengan seluruh jumlah penduduk di setiap provinsi.	Persen
X_2	Jumlah Penduduk Miskin di Indonesia	Jumlah penduduk miskin di setiap provinsi.	Orang
X_3	Persentase Rumah Tidak Layak Huni di Indonesia	Perbandingan antara jumlah rumah tidak layak huni dengan semua jumlah rumah di setiap provinsi.	Persen
X_4	Persentase Tempat Pengelolaan Makanan (TPM) yang Tidak Memenuhi Syarat Kesehatan	Perbandingan antara jumlah TPM yang tidak memenuhi syarat kesehatan dengan jumlah semua TPM di setiap provinsi	Persen
X_5	Persentase Sumber Air Tak Terlindungi (Sumur)	Perbandingan antara jumlah sumber air tak terlindungi (sumur) dengan semua jumlah sumber air di setiap provinsi.	Persen

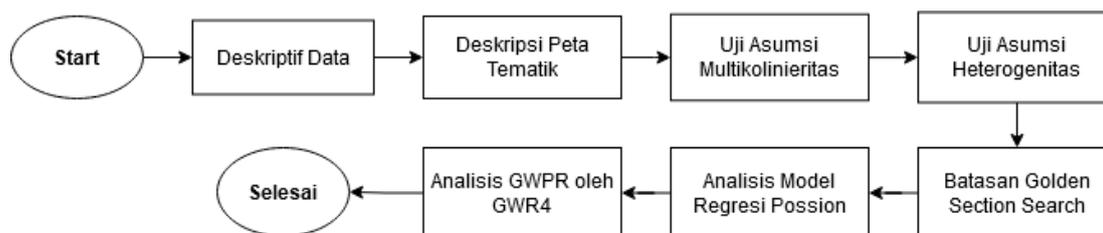
2.6 Tahapan Analisis Data

Langkah – langkah atau tahapan analisis data dengan menggunakan metode GWPR dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membuat deskripsi statistik data penelitian
2. Mendeskripsikan variabel prediktor dalam peta tematik menggunakan *Excel* dengan langkah
 - a. Menginputkan data jumlah kasus TB beserta faktor-faktor yang mempengaruhinya.
 - b. Membuat tabel *excel* dengan opsi *insert* → *tables* → *my table has headers* → *ok*.
 - c. Memilih atau *highlight* data nilai geografis yang telah diinput.
 - d. Memvisualisasikan bagan peta data dengan memilih opsi *insert* lalu klik *maps*.
 - e. Memformat bagan peta dengan memberi label dan warna sesuai jumlah klasifikasi.
 - f. Memberikan keterangan nama provinsi pada peta menggunakan option *Add label*.
 - g. Membuat deskripsi atau interpretasi variabel prediktor berdasarkan peta tematik.
3. Melakukan uji asumsi multikolinieritas ($VIF > 10$ dinyatakan terjadi multikolinearitas).
4. Melakukan uji asumsi spasial, yaitu: heterogenitas spasial dan dependensi spasial.
5. Menentukan batasan *Golden Section Search*
6. Melakukan pemodelan regresi Poisson biasa (global) dengan tahapan berikut:
 - a. Menentukan penaksiran parameter dari model regresi Poisson.
 - b. Melakukan uji signifikansi parameter serentak dan parsial.
 - c. Menentukan nilai AIC model regresi Poisson.

7. Melakukan analisis berdasarkan pendekatan GWPR dengan menggunakan *software* GWR4 dengan tahapan berikut :
- Menentukan koordinat *latitude* (u_i) dan *longitude* (v_i) di setiap provinsi Indonesia.
 - Menghitung jarak *Euclidian* (d_{ij}) antar lokasi pengamatan.
 - Menentukan nilai *bandwidth* (h) yang terbaik berdasarkan metode CV.
 - Menghitung matriks pembobot spasial dengan menggunakan fungsi Kernel yaitu *Fixed Gaussian*, *Fixed Bisquare*, *Adaptive Gaussian*, dan *Adaptive Bi-Square*.
 - Menentukan model terbaik dari empat fungsi pembobot dengan kriteria AIC terkecil.
 - Menentukan estimasi parameter model GWPR berdasarkan pembobot Kernel terbaik.
 - Melakukan uji signifikansi parameter parsial pada model GWPR terbaik.
 - Interpretasi model.

Tahapan analisis dapat disajikan dalam bentuk *flowchart* pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. *Flowchart* analisis data dengan menggunakan metode GWPR

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Deskripsi Statistik Variabel Penelitian

Untuk melihat gambaran distribusi data, hasil perhitungan statistik deskriptif berdasarkan data penelitian disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Nilai Statistik Deskriptif Variabel Penelitian

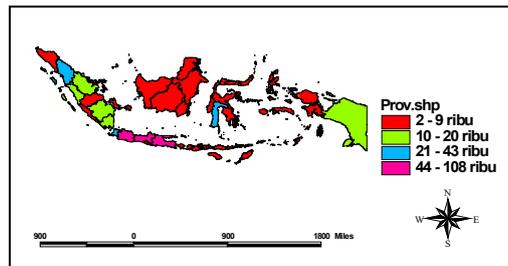
Variabel	<i>Maximum</i>	<i>Minimum</i>	<i>Mean</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Coefficient (%)</i>
Y	108	2	17	23,93	143,77
X_1	70,82	60,12	66,69	2,317	3,47
X_2	4292	50	749,2	1053	140,58
X_3	40,01	1,13	7	6,85	98,30
X_4	96,43	47,23	72,73	12,21	16,79
X_5	29,35	0	6,12	6,32	103,30

Berdasarkan Tabel 2, rata-rata jumlah kasus TB per provinsi adalah sebanyak 17 ribu jiwa. Sebagai tambahan, provinsi Jawa Barat memiliki jumlah kasus TB terbanyak yaitu 108 ribu jiwa.

Di sisi lain, Kepulauan Bangka Belitung, Kalimantan Utara, Sulawesi Barat, Maluku Utara, dan Papua Barat memiliki jumlah kasus yang paling sedikit yaitu 2 ribu jiwa.

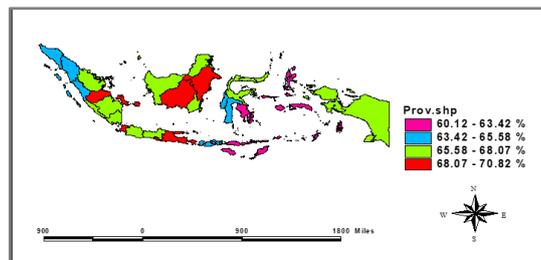
3.2 Deskripsi Variabel Penelitian berdasarkan Peta Tematik

Peta tematik digunakan untuk melihat secara geografis sebaran data variabel penelitian. Dalam penelitian ini, nilai variabel respon dan prediktor dikelompokkan menjadi empat kelas dengan metode otomatis yang difasilitasi oleh aplikasi pembuat peta.



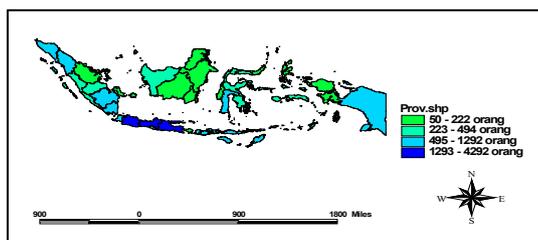
Gambar 2. Peta Tematik Jumlah Kasus Tuberkulosis di Indonesia

Gambar 2 menampilkan wilayah yang memiliki jumlah kasus tuberkulosis terendah dengan jumlah kasus antara 2 hingga 9 ribu jiwa. Wilayah ini terdiri dari provinsi Aceh, Jambi, Bengkulu, Bangka Belitung, Kepulauan Riau, dan lain – lain yang ditunjukkan oleh warna merah. Di sisi lain, provinsi Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur merupakan wilayah dengan jumlah kasus tertinggi, yang ditunjukkan dengan warna merah muda dengan jumlah kasus antara 44 hingga 108 ribu jiwa.



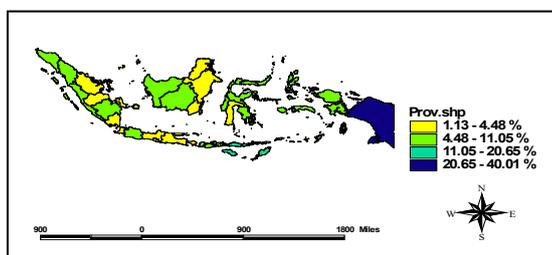
Gambar 3. Peta Tematik Persentase Penduduk Usia Produktif (15-64 tahun)

Berdasarkan Gambar 3, provinsi Maluku, Maluku Utara, Sulawesi Tenggara, dan Nusa Tenggara Timur ditunjukkan oleh warna merah muda yaitu memiliki persentase penduduk usia produktif terendah dengan interval 60.12 – 63.42%. Beberapa provinsi dengan persentase penduduk usia produktif tertinggi ditunjukkan oleh warna merah yang berada di kisaran 68.07 – 70.82% yaitu provinsi Jambi, Bali, Jakarta, Bangka Belitung, Banten, Yogyakarta, Kalimantan Tengah, dan Kalimantan Timur.



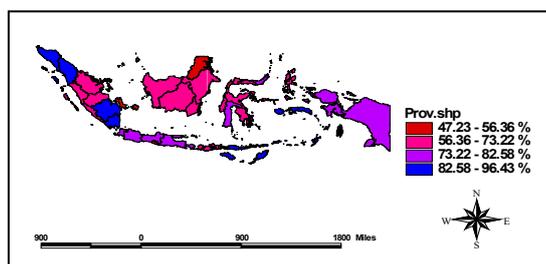
Gambar 4. Peta Tematik Jumlah Penduduk Miskin di Indonesia

Gambar 4 menampilkan beberapa provinsi memiliki jumlah penduduk miskin terendah dengan kisaran antara 50 hingga 222 orang. Provinsi-provinsi tersebut meliputi Bangka Belitung, Kepulauan Riau, Bali, Kalimantan Utara, Kalimantan Selatan, dan lain – lain yang ditunjukkan oleh warna hijau. Di sisi lain, provinsi Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur memiliki jumlah penduduk miskin tertinggi yang berkisar antara 1293 hingga 4292 orang.



Gambar 5. Peta Tematik Persentase Rumah Tidak Layak Huni di Indonesia

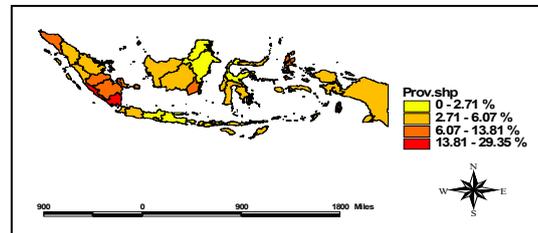
Berdasarkan Gambar 5, beberapa provinsi di Indonesia yaitu provinsi Riau, Kepulauan Riau, Jambi, Bangka Belitung, Lampung dan lain – lain yang ditunjukkan oleh warna kuning menunjukkan bahwa rumah tidak layak huni dengan persentase terendah ada di kisaran 1.13% - 4.48%. Sedangkan, rumah tidak layak huni dengan persentase terbesar ada di provinsi Papua yaitu 40,01% yang ditunjukkan dengan warna biru.



Gambar 6. Peta Tematik Persentase Tempat Pengelolaan Makanan (TPM) Yang Tidak Memenuhi Syarat Kesehatan

Gambar 6 menampilkan Tempat Pengelolaan Makanan (TPM) yang tidak memenuhi syarat kesehatan dengan persentase terendah sebesar 47,23% - 56,36% pada beberapa provinsi di Indonesia yaitu provinsi Bangka Belitung, Jakarta, Yogyakarta, dan Kalimantan Utara yang ditunjukkan dengan warna merah. Sementara itu, TPM yang tidak memenuhi syarat kesehatan

dengan persentase terbesar sebesar 82,58% - 96,43% yang ditandai dengan warna biru. Provinsi-provinsi tersebut provinsi Aceh, Nusa Tenggara Timur, Sumatera Utara, Sumatera Selatan, Lampung, dan Maluku.



Gambar 7. Peta Tematik Persentase Sumber Air Tak Terlindungi (Sumur)

Berdasarkan Gambar 7, persentase sumber air tak terlindungi terendah ditunjukkan oleh warna kuning yang berada di kisaran 0% – 2,71 %, beberapa provinsi tersebut adalah Jakarta, Bali, Jawa Timur, Jawa Tengah, Sulawesi Tengah, Kalimantan Utara, dan Kalimantan Timur. Warna merah merupakan persentase sumber air tak terlindungi di Indonesia tertinggi dengan interval 13,81% – 29,35 % yang berada di provinsi Bengkulu dan Lampung.

3.3 Pendeteksian Multikolinearitas

Deteksi adanya kasus multikolinieritas dilakukan berdasarkan nilai VIF. Hasil perhitungan VIF untuk semua variabel prediktor disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai VIF Variabel Prediktor

Variabel	VIF	Indikasi Multikolinearitas
Persentase penduduk usia produktif (15-64 tahun) (X_1)	1,34	Tidak terjadi multikolinearitas
Jumlah penduduk miskin (X_2)	1,35	Tidak terjadi multikolinearitas
Persentase rumah tidak layak huni (X_3)	1,20	Tidak terjadi multikolinearitas
Persentase Tempat Pengelolaan Makanan yang tidak memenuhi syarat kesehatan (X_4)	1,62	Tidak terjadi multikolinearitas
Persentase sumber air tak terlindungi (sumur) (X_5)	1,04	Tidak terjadi multikolinearitas

Berdasarkan Tabel 3, nilai VIF < 10 untuk semua prediktor. Ini mengindikasikan tidak terjadi multikolinieritas, sehingga semua variabel prediktor dilibatkan dalam pemodelan.

3.4 Uji Asumsi Spasial

Uji asumsi spasial bertujuan untuk mengetahui data yang dianalisis apakah memenuhi asumsi – asumsi dasar regresi spasial. Terdapat dua pengujian asumsi spasial sebagai berikut:

1. Uji Heterogenitas Spasial

Uji heterogenitas spasial menggunakan metode uji *Breush-Pagan* untuk mengetahui adanya efek heterogenitas spasial pada data penelitian. Berdasarkan hasil uji *Breush-Pagan* diperoleh nilai *p-value* sebesar 0,009889. Jika digunakan tingkat kesalahan $\alpha = 5\%$, maka *p-*

$value < \alpha$, dapat ditarik keputusan bahwa H_0 ditolak dan disimpulkan terdapat heterogenitas spasial dalam data. Hal ini menunjukkan bahwa data telah memenuhi asumsi spasial yaitu terdapat heterogenitas spasial dalam data.

2. Uji Dependensi Spasial

Uji dependensi spasial digunakan untuk mengetahui pengamatan yang dilakukan di satu daerah apakah mempengaruhi pengamatan di daerah lainnya. Pengujian ini menggunakan metode uji *Moran's I*. Berdasarkan hasil uji *Moran's I* diperoleh nilai p -value = 0,00079. Dengan tingkat kesalahan $\alpha = 5\%$, dapat ditarik keputusan tolak H_0 dengan kesimpulan terdapat dependensi spasial dalam data respon. Hal tersebut menunjukkan bahwa data telah memenuhi asumsi spasial yaitu terdapat dependensi spasial dalam data.

3.5 Batasan *Golden Section Search*

Metode *Golden Section Search* adalah teknik optimasi secara iterasi numerik dari fungsi non-linier univariat yang membutuhkan batas bawah dan atas dalam prosesnya. Dalam kasus ini, batas bawah dan batas atas *Golden Section Search* adalah batas-batas *bandwidth (h)* yang ditentukan secara logis dan relevan dengan tujuan untuk mencari h yg optimal. Memilih h optimal dapat dilakukan dengan meminimumkan fungsi CV. Fungsi CV adalah fungsi objektif yang digunakan pada metode optimasi *Golden Section Search* yang dapat dinyatakan sebagai berikut.

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

Bandwidth (h) merupakan jarak ketetanggaan antar unit observasi. Adapun unit observasi dalam kasus ini berupa provinsi di Indonesia. Oleh karena itu, jarak ketetanggaan terkecil yaitu jarak minimum antar provinsi diambil sebagai batas bawah h , sedangkan jarak ketetanggaan terbesar yaitu jarak maksimum antar provinsi di Indonesia diambil sebagai batas atas h . Berdasarkan data pada penelitian ini, diperoleh batas bawah = 0,6718 dan batas atas = 46,0924.

3.6 Pemilihan Pembobot Terbaik

Pembobot terbaik ditentukan dari beberapa fungsi kernel dengan nilai AIC terkecil. Nilai AIC ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Nilai AIC model GWPR untuk setiap pembobot Kernel

Pembobot Kernel	Nilai AIC
<i>Fixed Gaussian</i>	69,144978
<i>Fixed Bi-Square</i>	152,599922
<i>Adaptive Gaussian</i>	64,759336
<i>Adaptive Bi-Square</i>	63,748637

Berdasarkan Tabel 4 diperoleh bahwa nilai AIC terkecil dihasilkan oleh pembobot kernel *Adaptive Bi-Square* yaitu sebesar 63,748637. Oleh karena itu, model GWPR terbaik adalah dengan pembobot kernel *Adaptive Bi-Square*.

3.7 Pemodelan Kasus TB Menggunakan GWPR dengan Pembobot Kernel *Adaptive Bi-Square*

Berdasarkan analisis diperoleh pemodelan untuk jumlah kasus tuberkulosis di setiap provinsi dengan pendekatan GWPR menggunakan fungsi pembobot kernel *Adaptive Bi-Square* yang ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Model Jumlah Kasus Tuberkulosis tiap Provinsi

Kode	Provinsi	Model
0	Aceh	$\hat{y}_0 = \exp (9,6956 - 0,0794X_1 + 0,0023X_2 + 0,0183X_3 - 0,0445X_4 - 0,0316X_5)$
1	Sumatera Utara	$\hat{y}_1 = \exp (7,7757 - 0,0546X_1 + 0,00217X_2 + 0,0416X_3 - 0,0406X_4 - 0,0366X_5)$
2	Sumatera Barat	$\hat{y}_2 = \exp (8,4897 - 0,0916X_1 + 0,0015X_2 - 0,0048X_3 - 0,0093X_4 - 0,0231X_5)$
3	Riau	$\hat{y}_3 = \exp (7,9048 - 0,0813X_1 + 0,0015X_2 + 0,0266X_3 - 0,0127X_4 - 0,0265X_5)$
4	Jambi	$\hat{y}_4 = \exp (8,3004 - 0,0936X_1 + 0,0018X_2 - 0,0133X_3 - 0,0048X_4 - 0,0308X_5)$
5	Sumatera Selatan	$\hat{y}_5 = \exp (-56,8476 + 0,8264X_1 + 0,0024X_2 + 0,0087X_3 + 0,0219X_4 - 0,0069X_5)$
6	Bengkulu	$\hat{y}_6 = \exp (-2,0158 + 0,0852X_1 + 0,0022X_2 - 0,0298X_3 - 0,0250X_4 - 0,0485X_5)$
7	Lampung	$\hat{y}_7 = \exp (-79,4715 + 1,1133X_1 + 0,0006X_2 + 0,0862X_3 + 0,0705X_4 + 0,0290X_5)$
8	Kep. Bangka Belitung	$\hat{y}_8 = \exp (-50,0303 + 0,7093X_1 + 0,0006X_2 + 0,0885X_3 + 0,0488X_4 - 0,0091X_5)$
9	Kepulauan Riau	$\hat{y}_9 = \exp (12,0536 - 0,1550X_1 + 0,0016X_2 - 0,0149X_3 - 0,0008X_4 - 0,0192X_5)$
10	DKI Jakarta	$\hat{y}_{10} = \exp (-71,5262 + 1,0116X_1 + 0,0006X_2 + 0,0618X_3 + 0,0598X_4 + 0,0274X_5)$
11	Jawa Barat	$\hat{y}_{11} = \exp (-10,7370 + 0,1730X_1 + 0,0004X_2 + 0,1501X_3 + 0,0187X_4 - 0,0264X_5)$
12	Jawa Tengah	$\hat{y}_{12} = \exp (9,6249 - 0,1211X_1 + 0,0003X_2 + 0,2011X_3 + 0,0199X_4 - 0,1574X_5)$
13	DI Yogyakarta	$\hat{y}_{13} = \exp (2,5089 - 0,0176X_1 + 0,0004X_2 + 0,2032X_3 + 0,0125X_4 - 0,0479X_5)$
14	Jawa Timur	$\hat{y}_{14} = \exp (7,0686 - 0,0715X_1 + 0,0008X_2 + 0,1769X_3 - 0,0224X_4 + 0,0245X_5)$
15	Banten	$\hat{y}_{15} = \exp (-72,9169 + 1,0289X_1 + 0,0006X_2 + 0,0648X_3 + 0,0624X_4 + 0,0252X_5)$
16	Bali	$\hat{y}_{16} = \exp (5,5033 - 0,1174X_1 + 0,0006X_2 - 0,09701X_3 + 0,0556X_4 + 0,1238X_5)$
17	NTB	$\hat{y}_{17} = \exp (7,1259 - 0,1689X_1 + 0,0005X_2 - 0,1627X_3 + 0,0824X_4 + 0,1501X_5)$
18	NTT	$\hat{y}_{18} = \exp (2,6003 - 0,0734X_1 + 0,0023X_2 - 0,2014X_3 + 0,0428X_4 + 0,2621X_5)$
19	Kalimantan Barat	$\hat{y}_{19} = \exp (-8,0646 + 0,1545X_1 + 0,0029X_2 - 0,0623X_3 - 0,0059X_4 - 0,1278X_5)$
20	Kalimantan Tengah	$\hat{y}_{20} = \exp (-7,1778 + 0,0958X_1 + 0,0003X_2 - 0,2069X_3 + 0,0504X_4 + 0,0234X_5)$
21	Kalimantan Selatan	$\hat{y}_{21} = \exp (3,9063 - 0,0512X_1 + 0,0004X_2 - 0,2029X_3 + 0,0319X_4 + 0,0362X_5)$
22	Kalimantan Timur	$\hat{y}_{22} = \exp (-5,4739 + 0,1236X_1 + 0,0045X_2 - 0,0202X_3 - 0,0404X_4 + 0,1136X_5)$
23	Kalimantan Utara	$\hat{y}_{23} = \exp (-12,2877 + 0,1832X_1 + 0,0034X_2 - 0,0401X_3 + 0,0113X_4 + 0,0618X_5)$
24	Sulawesi Utara	$\hat{y}_{24} = \exp (-8,9227 + 0,1367X_1 + 0,0029X_2 - 0,0763X_3 + 0,0169X_4 + 0,0341X_5)$
25	Sulawesi Tengah	$\hat{y}_{25} = \exp (-8,5081 + 0,1352X_1 + 0,0034X_2 - 0,0361X_3 + 0,0028X_4 + 0,0725X_5)$
26	Sulawesi Selatan	$\hat{y}_{26} = \exp (-1,5052 + 0,0567X_1 + 0,0031X_2 - 0,1933X_3 - 0,0118X_4 + 0,0881X_5)$
27	Sulawesi Tenggara	$\hat{y}_{27} = \exp (-2,1501 + 0,0564X_1 + 0,0027X_2 - 0,1189X_3 + 0,0069X_4 - 0,0811X_5)$
28	Gorontalo	$\hat{y}_{28} = \exp (-8,7957 + 0,1319X_1 + 0,0029X_2 - 0,0559X_3 + 0,0162X_4 + 0,0456X_5)$
29	Sulawesi Barat	$\hat{y}_{29} = \exp (-5,4120 + 0,1198X_1 + 0,0043X_2 - 0,0319X_3 - 0,0352X_4 + 0,1078X_5)$
30	Maluku	$\hat{y}_{30} = \exp (-5,1922 + 0,0905X_1 + 0,0026X_2 - 0,1209X_3 + 0,0145X_4 - 0,0035X_5)$
31	Maluku Utara	$\hat{y}_{31} = \exp (-6,8192 + 0,1128X_1 + 0,0027X_2 - 0,1134X_3 + 0,0155X_4 + 0,0068X_5)$

Kode	Provinsi	Model
32	Papua Barat	$\hat{y}_{32} = \exp(-15,0672 + 0,1942X_1 + 0,0019X_2 - 0,0051X_3 + 0,0329X_4 + 0,1602X_5)$
33	Papua	$\hat{y}_{33} = \exp(-15,8733 + 0,1989X_1 + 0,0014X_2 + 0,0026X_3 + 0,0381X_4 + 0,1791X_5)$

3.8 Uji Kesesuaian Model GWPR dengan Pembobot Kernel *Adaptive Bi-Square*

Uji kesesuaian atau dapat dikatakan uji kesamaan antara model GWPR dengan regresi Poisson dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan yang signifikan antara model GWPR dengan regresi Poisson. Hasil analisis ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 6. Output Uji Kesesuaian Model

Model	AIC	Devians	Df	Devians/df
Regresi Poisson	222,0487	210,049	28,000	7,502
GWPR	63,7486	6,338	3,358	1,887

Dari tabel 6 dapat dihitung nilai statistik uji F sebagai berikut :

$$F = \frac{\text{Devians Regresi Poisson}}{\text{df Regresi Poisson}} : \frac{\text{Devians GWPR}}{\text{df GWPR}} = \frac{7,502}{1,887} = 3,9756 \quad (8)$$

Daerah penolakan H_0 adalah $F > F_{((1-\alpha);df_1;df_2)}$, atau $F > F_{(0,95;28,00;3,358)} = 7,2579$. Oleh karena $F = 3,9756 < F_{((1-\alpha);df_1;df_2)} = 7,2579$ maka gagal tolak H_0 . Dengan demikian secara statistika tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara model GWPR dengan regresi Poisson. Namun, berdasarkan AIC terkecil dapat dilihat bahwa model GWPR dengan pembobot Kernel *Adaptive Bi-Square* memiliki nilai AIC yang jauh lebih kecil dari model regresi Poisson (global), sehingga dapat dikatakan bahwa GWPR lebih baik dari model regresi Poisson (global).

3.9 Uji Signifikansi Parameter Model GWPR dengan Pembobot Kernel *Adaptive Bi-Square*

Uji signifikansi parameter model GWPR dilakukan untuk mengetahui variabel prediktor yang mempengaruhi variabel respon secara signifikan. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Uji Signifikansi Parameter model GWPR

Variabel Signifikan	Provinsi
X_1	Sumatera Selatan, Lampung, Kepulauan Bangka Belitung, DKI Jakarta, Jawa Barat, Banten
X_2	Aceh, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Riau, Jambi, Sumatera Selatan, Bengkulu, Lampung, Kepulauan Bangka Belitung, Kepulauan Riau, DKI Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, DI Yogyakarta, Jawa Timur, Banten, Bali, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur, Kalimantan Utara, Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Gorontalo, Sulawesi Barat, Maluku, Maluku Utara
X_3	Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, Di Yogyakarta, Jawa Timur, Banten, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Maluku

Variabel Signifikan	Provinsi
X_4	Lampung, Kepulauan Bangka Belitung, DKI Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, Banten, Bali, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur
X_5	Bengkulu, Bali, Nusa Tenggara Barat, Kalimantan Barat

Berdasarkan Tabel 7, dapat diinterpretasikan bahwa variabel prediktor yang signifikan berpengaruh pada kasus TB berbeda-beda antar provinsi. Sebagai contoh, variabel prediktor yang berpengaruh signifikan di Jawa Barat sebagai provinsi dengan kasus TB tertinggi adalah X_1 , X_2 , X_3 , dan X_4 . Sementara itu di provinsi dengan jumlah kasus TB terendah: Kalimantan Utara, Sulawesi Utara, dan Maluku Utara, variabel prediktor yang berpengaruh signifikan hanya X_2 .

Lebih lanjut, interpretasi bisa diberikan untuk model di masing-masing provinsi. Sebagai contoh berdasarkan Tabel 5, model untuk jumlah kasus TB di provinsi Jawa Barat yang merupakan provinsi dengan kasus TB tertinggi di Indonesia adalah sebagai berikut:

$$\hat{y}_{11} = \exp(-10,7370 + 0,1730X_1 + 0,0004X_2 + 0,1501X_3 + 0,0187X_4 - 0,0264X_5) \quad (9)$$

Dari model pada persamaan (9) dapat diinterpretasikan bahwa setiap kenaikan persentase penduduk usia produktif (X_1) sebesar 1%, maka jumlah kasus tuberkulosis mengalami kenaikan sebesar 0,1730 ribu jiwa (atau 173 jiwa). Selanjutnya untuk kenaikan jumlah penduduk miskin (X_2) sebesar 1 orang, maka jumlah kasus tuberkulosis meningkat sebesar 0,0004 ribu jiwa (atau 0,4 jiwa). Jika rumah tidak layak huni (X_3) naik sebesar 1% maka jumlah kasus tuberkulosis meningkat sebesar 0,1501 ribu jiwa (atau 150 jiwa). Jika tempat pengelolaan makanan (TPM) yang tidak memenuhi syarat kesehatan (X_4) meningkat sebesar 1% maka jumlah kasus tuberkulosis meningkat sebesar 0,0187 ribu jiwa (atau 19 jiwa). Interpretasi terhadap masing-masing variabel prediktor tersebut dengan asumsi nilai variabel lainnya tetap/ tidak berubah. Untuk variabel X_5 , karena variabel X_5 tidak berpengaruh signifikan terhadap kasus TB di Jawa Barat maka tidak diinterpretasikan.

4 Simpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Provinsi Jawa Barat memiliki jumlah kasus TB terbanyak yaitu 108 ribu jiwa. Di sisi lain, provinsi Kepulauan Bangka Belitung, Sulawesi Barat, Kalimantan Utara, Maluku Utara, dan Papua Barat memiliki jumlah kasus yang paling sedikit yaitu 2 ribu jiwa. Pada 34 provinsi di Indonesia, rata-rata jumlah kasus TB adalah sebanyak 17 ribu jiwa. Persentase penduduk dengan usia produktif (15-64 tahun) memiliki nilai rata-rata yang besar. Hal ini dipengaruhi

karena dengan rentang usia antara 15-64 tahun cenderung menjadi kelompok usia yang rentan terhadap TB.

2. Dilihat dari peta tematik, jumlah kasus TB di Indonesia pada tahun 2018 memiliki persebaran yang tidak merata. Jumlah kasus TB tertinggi cenderung ada di Pulau Jawa yaitu Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur. Hal ini disebabkan oleh faktor jumlah penduduk miskin yang tinggi dan tempat pengelolaan makanan yang tidak memenuhi syarat kesehatan.
3. Model GWPR dengan pembobot *Adaptive Bi-Square* di Jawa Barat yang merupakan provinsi dengan kasus TB tertinggi adalah
$$\hat{y}_{11} = \exp(-10,7370 + 0,1730X_1 + 0,0004X_2 + 0,1501X_3 + 0,0187X_4 - 0,0264X_5)$$
4. Hasil analisis menunjukkan jumlah penduduk miskin memiliki pengaruh yang signifikan di hampir seluruh provinsi di Indonesia. Sedangkan Persentase Sumber Air Tak Terlindungi (Sumur) signifikan hanya di beberapa provinsi.

Saran yang dapat diberikan adalah

1. Pemerintah pusat diharapkan dapat memberikan pelayanan yang merata pada seluruh provinsi di Indonesia dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhi serta mengevaluasi kebijakan untuk menurunkan jumlah kasus tuberkulosis di Indonesia, khususnya pada reduksi jumlah penduduk miskin guna mendukung program SDGs 2030.
2. Masing-masing provinsi diharapkan dapat membuat kebijakan untuk penanganan kasus TB diprioritaskan berdasarkan variabel yang signifikan di wilayahnya. Sebagai contoh, provinsi Jawa Barat dapat memprioritaskan pada variabel penduduk usia produktif (X_1), jumlah penduduk miskin (X_2), rumah tidak layak huni (X_3), dan tempat pengelolaan makanan (TPM) yang tidak memenuhi syarat kesehatan (X_4).

5 Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kemenkes dan BPS RI atas penyediaan data penelitian ini, Universitas Airlangga atas dukungannya, reviewer atas masukannya, dan seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan artikel ilmiah ini.

6 Daftar Pustaka

- [1] Putra, A. Rusidarma, and S. Suflani, "Sustainable Development Goals In Indonesia's Post-Pandemic Economic Development: Sustainable Development Goals Dalam Pembangunan Ekonomi Indonesia Pasca Pandemi," *Indonesian Journal of Economy, Business,*

-
- Entrepreneurship and Finance*, vol. 2, no. 3, pp. 316-325, 2022, doi: 10.53067/ijebef.v2i3.78.
- [2] Putri and L. Dewanty, "Program Sustainable Development Goals (SDGs) Desa Dalam Menciptakan Kesejahteraan Masyarakat di Kecamatan Plaosan Kabupaten Magetan," PhD diss., IAIN Ponorogo, 2023.
- [3] Taasiringan, Sandy, M. Silva, and D. Katiandagho, "Hubungan Kondisi Fisik Rumah Dengan Kejadian Penyakit Tb Paru Di Wilayah Kerja Puskesmas Lansot Kota Tomohon," PhD diss., Universitas Katolik De La Salle, 2015.
- [4] Kemenkes RI, "Pusat Data Informasi Tuberkulosis," *Jakarta: Pusdatin Kemenkes RI*, 2015.
- [5] World Health Organization, "World health statistics 2018: monitoring health for the SDGs," *sustainable development goals*, 2018.
- [6] E.D. Sihaloho, D.S. Amru, N.I. Agustina, dan H.S.P. Tambak. "Pengaruh Angka Kemiskinan terhadap Angka Tuberkulosis di Indonesia", *Journal of Applied Business and Economics*, col. 7, no. 3, pp. 325-337, 2021
- [7] M. Mushidah, Y. P. Widiastuti, and P. Purwati, "Pengaruh Kondisi Sanitasi Rumah terhadap Kejadian Penyakit TB Paru," *Jurnal Penelitian Perawat Profesional*, vol. 4, no. 4, pp. 1261-1268, 2022, doi: 10.37287/jppp.v4i4.1234.
- [8] Sari and Delvita, "Gambaran Sanitasi Dan Perilaku Penghuni Rumah Penderita Tuberkulosis Di Wilayah Kerja Puskesmas Kedaton Kota Bandar Lampung Tahun 2021," *Ruwa Jurai: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, vol. 15, no. 3 pp. 138-143, 2021, doi: 10.26630/rj.v15i3.3072.
- [9] McCullagh, P., & Nelder, J. *Generalized Linear Models*. Chapman & Hall. London, 1989.
- [10] Sogen, D. Leki, P. R. Arum, and R. Wasono, "Pemodelan Geographically Weighted Poisson Regression (GWPR) Dengan Pembobot Fixed Bisquare Kernel Dan Adaptive Bisquare Kernel Pada Kasus DBD Di Riau," In *Prosiding Seminar Nasional Unimus*, vol. 6, 2023.
- [11] Tuasikal and N. Jannah, "Implementasi Webgis, Geographically Weighted Poisson Regression (Gwpr), Dan Clustering K-Means Untuk Analisis Data Tuberkulosis Dunia (Studi Kasus: Kasus Tuberkulosis Dunia Tahun 2015)," 2018.
- [12] A.S. Fotheringham, C. Brunson, and M. Charlton. *Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships*. John Wiley & Sons, 2002
- [13] T. Saifudin, Suliyanto, and E. Ana, "Development of Geographically Weighted Regression Using Polynomial Function Approach and Its Application on Life Expectancy Data,"

International Journal of Innovation, Creativity and Change, vol. 5, no. 3, pp. 271 – 289, 2019.

- [14] W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, and B. P. Flannery, *Numerical recipes 3rd edition: The art of scientific computing*, 3rd ed., New York: Cambridge University, 2007.