

Tuberculosis Modeling in East Java Based on Geographically Weighted Regression Approach

Pemodelan Penderita Tuberkulosis di Jawa Timur Berdasarkan Pendekatan Geographically Weighted Regression (GWR)

Diah Puspita Ningrum¹, Toha Saifudin^{2*}, Suliyanto³, Nur Chamidah⁴

1,2,3,4Program Studi Statistika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga
Email address: ¹diah.puspita.ningrum-2018@fst.unair.ac.id, ²tohasaifudin@fst.unair.ac.id,
³yanfit@yahoo.co.id^{3,4}, ⁴nur-c@fst.unair.ac.id

* Corresponding author

Abstract

Tuberculosis is the 13th trigger of death causes around the world. Even after Covid-19, tuberculosis ranks 2nd as a contagious killer disease. In 2020, Indonesia ranks 2nd out of 8 countries with the highest contributor to tuberculosis sufferers after India. East Java Province is the region with the largest number of tuberculosis cases in order of 8. Tuberculosis cases in East Java in 2020 have decreased, but when viewed from the success rate of treatment of tuberculosis cases per district/city in East Java, it was found that 53% still did not meet the target of 90%. According to WHO (World Health Organization), gender affects the occurrence of tuberculosis disease, where men are more susceptible than women. In finding treatment for all tuberculosis incidents in East Java, the highest patient was male. This study was conducted to model tuberculosis in men in the East Java area. The results of the study prove that the modeling of male tuberculosis in East Java used linear regression and GWR (Geographically Weighted Regression) obtained the best model was GWR with Fixed Gaussian Kernel weighting, CV value of 5.68, and R^2 86.47%. Variables that have a significant effect on male tuberculosis in East Java are BCG immunization for male infants, public places meeting health requirements, youth who smoke tobacco every day, sex ratio, and households with access to proper sanitation facilities.

Keywords: Tuberculosis, Linear Regression, Geographically Weighted Regression

Abstrak

Penyakit tuberkulosis merupakan salah satu penyakit pemicu kematian urutan ke-13 di dunia. Bahkan setelah Covid-19, penyakit tuberkulosis menempati urutan ke-2 sebagai penyakit pembunuh menular. Pada tahun 2020 Indonesia menduduki urutan ke-2 dari 8 negara di dunia sebagai penyumbang terbesar penderita tuberkulosis setelah India. Provinsi Jawa Timur menjadi salah satu wilayah dengan kasus tuberkulosis tertinggi urutan 8. Kasus tuberkulosis di Jawa Timur tahun 2020 mengalami penurunan, namun jika dilihat dari angka keberhasilan pengobatan kasus tuberkulosis per kabupaten/kota di Jawa Timur ditemukan sebanyak 53% masih belum memenuhi dari target 90%. Menurut WHO (*World Health Organization*), jenis kelamin berpengaruh pada terjadinya penyakit tuberkulosis, yang mana laki-laki lebih rentan daripada



perempuan. Dalam penemuan pengobatan semua insiden tuberkulosis di Jawa Timur penderita tertinggi di duduki oleh jenis kelamin laki-laki. Penelitian ini dilakukan untuk memodelkan tuberkulosis pada laki-laki di wilayah Jawa Timur. Hasil dari penelitian ini diperoleh bahwa dalam pemodelan tuberkulosis laki-laki di wilayah Jawa Timur menggunakan regresi linier dan GWR (*Geographically Weighted Regression*) diperoleh model terbaik adalah GWR dengan pembobotan Fixed Gaussian Kernel, nilai CV sebesar 5,68 dan R^2 sebesar 86,47%. Variabel yang memiliki pengaruh signifikan pada tuberkulosis laki-laki di Jawa Timur adalah imunisasi BCG pada bayi laki-laki, TTU (Tempat-Tempat Umum) memenuhi syarat kesehatan, pemuda yang setiap hari merokok tembakau, rasio jenis kelamin, dan rumah tangga dengan akses fasilitas sanitasi yang layak.

Kata kunci: Tuberkulosis, Regresi Linier, Geographically Weighted Regression

1. PENDAHULUAN

Penyakit yang penularannya disebabkan oleh basil bakteri *Mycobacterium tuberculosis* adalah tuberkulosis (TB). Organ utama di dalam tubuh yang diserang oleh bakteri ini adalah paru-paru. Saat ini penyakit TB termasuk dalam poin penting dari target global *Sustainable Development Goals* (SDGs). Menurut Badan Pusat Statistik (BPS), tujuan ketiga dari 17 butir target SDGs yang dilaksanakan oleh Pemerintah Indonesia yaitu penjaminan kehidupan sehat dan juga meningkatkan kesejahteraan bagi seluruh penduduk di semua usia [1]. Dalam upaya mendukung tujuan tersebut, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (Kemenkes RI) menyusun strategi nasional dalam menanggulangi TB di Indonesia untuk tahun 2020-2024. Strategi penanggulangan TB ini sendiri menggunakan rekomendasi dari WHO yaitu dengan “*people-centred framework*” (PCF) [6].

Di seluruh dunia, penyakit TB menjadi penyebab kematian urutan ke-13 dan pembunuh menular urutan ke-2 setelah *Coronavirus Disease 2019* [17]. Penanganan penyakit TB apabila perlakuan dari pengobatannya tidak terselesaikan dapat menimbulkan berbagai macam penyakit hingga kehilangan nyawa seseorang [14]. Situasi tersebut yang menjadikan penyakit TB sampai saat ini sebagai isu kesehatan dunia khususnya di Indonesia. Hasil publikasi Global TB Report oleh WHO pada tahun 2020, saat ini Indonesia menduduki urutan ke-2 dari 8 negara di dunia yang menjadi penyumbang terbesar (2/3 dari total) penderita TB setelah India. Berdasarkan peta data TB per 16 April 2021 yang dipublikasikan oleh Kemenkes RI, estimasi insiden TB tahun 2020 di Indonesia kasusnya sebesar 845.000 dan Provinsi Jawa Timur termasuk dalam provinsi dengan insiden total kejadian yang tinggi [15]. Tepatnya angka penemuan dan pengobatan semua insiden TB di Jawa Timur sebanyak 42.922 kasus dan capaian tersebut menempatkan posisi Jawa Timur urutan ke-8 di Indonesia [2]. Posisi Jawa Timur urutan ke-8 menjadi salah satu capaian terbaik, namun jika dilihat dari angka keberhasilan pengobatan kasus TBC di Jawa Timur ditemukan sebanyak 53% kabupaten/kota masih belum memenuhi dari target 90%.

Menurut WHO, jenis kelamin berpengaruh pada terjadinya penyakit TB, yang mana laki-laki lebih rentan daripada perempuan (memiliki persentase kejadian TB yang lebih besar dari perempuan). Dalam penemuan pengobatan semua insiden TB di Jawa Timur penderita laki-laki lebih tinggi daripada perempuan. Tingginya kasus TB pada laki-laki juga dirasakan pada negara-negara lain seperti Peru, Rumania, dan Afrika Selatan dimana insiden TB pada laki-laki terjadi sekitar 2 kali lipat lebih tinggi daripada perempuan [16]. Hasil survei prevalensi TB tahun 2013-2017 juga mengatakan bahwa penderita laki-laki lebih tinggi risikonya terkena TB daripada perempuan dan bahkan pada tahun 2013-2014 insiden TB pada laki-laki menjadi 3 kali lebih tinggi daripada perempuan [5]. Penemuan insiden TB yang terjadi di Jawa Timur pada jenis kelamin laki-laki sebanyak 23.875 kasus dimana penderita laki-laki 11,2% lebih tinggi daripada perempuan [2].

Tuberkulosis merupakan salah satu penyakit dengan fenomena heterogenitas spasial [9]. Heterogenitas spasial ini muncul karena diasumsikan setiap lokasi/wilayah spasial memiliki estimasi parameter yang berbeda (heterogen) untuk setiap lokasi (u_i, v_i) . Tuberkulosis tidak hanya

termasuk dalam fenomena heterogenitas spasial saja, namun juga fenomena ketergantungan spasial. Ketergantungan spasial artinya setiap lokasi/wilayah diasumsikan memiliki dependensi, hal tersebut diwujudkan dengan adanya pembobot ketika proses estimasi di suatu lokasi. Lokasi yang dekat memiliki bobot yang lebih besar daripada lokasi yang jauh terhadap titik lokasi estimasi. Ketergantungan spasial pada TB dapat terjadi karena TB merupakan penyakit yang mudah menular dan tidak terbatas pada wilayah administrasi. Berdasarkan pada tipe datanya, pemodelan spasial dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu pemodelan dengan adanya pendekatan titik dan juga pendekatan area [8]. Metode *Geographically Weighted Regression* (GWR) dapat dijadikan metode untuk menganalisis efek spasial dengan pendekatan titik. Pada penelitian ini akan mengikutsertakan pengaruh spasial sehingga nantinya dapat memberikan informasi yang lebih banyak dari model yang terbentuk. Selain menyertakan pengaruh spasial, penelitian ini akan menggunakan regresi linier dalam menentukan model terbaik.

Tingginya angka kejadian TB pada laki-laki yang bisa mencapai 3 kali lipat dikarenakan adanya faktor kebiasaan merokok, yang mana laki-laki 2 kali lipat lebih tinggi daripada perempuan [5]. Faktor-faktor yang mempengaruhi TB meliputi faktor yang memiliki hubungan dengan individu, pola hidup dan kondisi dari tempat tinggal [11]. Faktor yang memiliki hubungan dengan pola hidup dan juga kondisi dari tempat tinggal seperti imunisasi BCG (*Bacillus Calmette-Guérin*), tempat umum yang memenuhi syarat kesehatan, merokok, puskesmas dan tingkat sanitasi [10]. Selain faktor tersebut dalam penelitian ini juga menggunakan faktor jenis kelamin (faktor yang berhubungan dengan individu) dan juga penderita diabetes melitus.

Berdasarkan kenyataan yang ada, penelitian ini akan membahas tentang pemodelan persentase penderita TB pada laki-laki di Jawa Timur dengan variabel prediktor imunisasi BCG pada bayi laki-laki, tempat-tempat umum memenuhi syarat kesehatan, pemuda yang setiap hari merokok tembakau, rasio jenis kelamin, jumlah puskesmas, rumah tangga dengan akses fasilitas sanitasi yang layak dan penderita diabetes melitus. Metode yang digunakan dalam pemodelan persentase penderita TB pada laki-laki di Jawa Timur yaitu regresi linier berganda dan juga pendekatan GWR. Hasil identifikasi ini harapannya dapat digunakan sebagai masukan kepada pemerintahan untuk memperhatikan penderita TB khususnya pada laki-laki wilayah Jawa Timur.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Data dan Sumber Data

Data dalam penelitian ini merupakan data yang perolehannya berasal dari publikasi Dinas Kesehatan Provinsi Jawa Timur dan publikasi BPS pada Tahun 2020 [1]. Data yang perolehannya berasal dari Publikasi Dinas Kesehatan Provinsi Jawa Timur, antara lain imunisasi BCG pada bayi laki-laki, Tempat Tempat Umum (TTU) memenuhi syarat kesehatan, jumlah puskesmas, dan diabetes melitus. Data yang perolehannya berasal dari publikasi BPS, antara lain rasio jenis kelamin, rumah tangga dengan akses fasilitas sanitasi yang layak, dan juga pemuda yang setiap hari merokok tembakau. Variabel penelitian ada pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Variabel penelitian

Deskripsi variabel	Satuan	Skala
Tuberkulosis Laki-laki (Y)	Persen	Kontinu
Imunisasi BCG Pada Bayi Laki-laki (X_1)	Orang	Diskrit

JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI
Diah Puspita Ningrum, Toha Saifudin, Sulyanto, Nur Chamidah

TTU Memenuhi Syarat Kesehatan (X_2)	Persen	Kontinu
Pemuda yang setiap hari merokok tembakau (X_3)	Persen	Kontinu
Rasio Jenis Kelamin (X_4)	Persen	Kontinu
Jumlah Puskesmas (X_5)	Tempat	Diskrit
Rumah Tangga dengan Akses Fasilitas Sanitasi yang Layak (X_6)	Persen	Kontinu
Diabetes Militus (X_7)	Orang	Diskrit

2.2 Analisis Data

Penelitian ini menggunakan bantuan *software R* dan GWR 4 dalam menganalisis data. Langkah-langkah analisis data pemodelan tuberkulosis laki-laki di Jawa Timur sebagai berikut:

- 1) Menganalisis statistika deskriptif setiap variabel penelitian. Analisis ini berisi nilai rata-rata setiap variabel penelitian, nilai minimum dan juga nilai maksimumnya.
- 2) Melakukan uji asumsi klasik pada data. Uji asumsi ini berupa pengujian normalitas residual dan juga pengujian multikolinieritas. Pengujian normalitas residual dengan menggunakan Kolmogorov-Smirnov [12].

$$D = \max_x |F^*(X) - S_n(X)| \quad (2.1)$$

Dimana $S_n(X)$ adalah fungsi distribusi kumulatif sampel dan $F^*(X)$ merupakan fungsi distribusi normal kumulatif. Kemudian untuk uji multikolinieritas dengan menggunakan nilai *Variance Inflator Factor* (VIF) [4].

$$VIF_j = \frac{1}{1-R_j^2} \quad (2.2)$$

- 3) Melakukan pengestimasian parameter dalam model regresi linier berganda [13].

$$E(y_i) = \mathbf{X}_i \boldsymbol{\beta} \quad (2.3)$$

untuk $\mathbf{X}_i = (1 \ X_{i1} \ X_{i2} \ \dots \ X_{ip})$. Kemudian dilanjutkan dengan pengujian signifikansi parameter secara serentak dan parsial pada model regresi linier berganda.

- 4) Pengujian asumsi spasial pada data. Uji asumsi ini berupa uji asumsi dependensi spasial dan uji asumsi heterogenitas spasial. Statistik uji untuk asumsi dependensi spasial yaitu Moran's I [7].

$$Z_I = \frac{I-E(I)}{\sqrt{\text{Var}(I)}} \quad (2.4)$$

Dengan I adalah indeks moran yang diperoleh dari $I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$

dan $E(I) = \frac{-1}{(n-1)}$. Statistik uji untuk asumsi heterogenitas spasial yaitu Breusch-Pagan [7]

$$BP = \left(\frac{1}{2}\right) \mathbf{f}^t \mathbf{Z} (\mathbf{Z}^t \mathbf{Z})^{-1} \mathbf{Z}^t \mathbf{f} \quad (2.5)$$

untuk \mathbf{Z} matriks yang ukurannya $(n \times (p + 1))$ dan vektor di dalamnya sudah dinormal standarkan (setiap observasi) dan elemen vektor f adalah $f_i = \left(\frac{e_i^2}{\hat{\sigma}^2} - 1\right)$ dengan $e_i = y_i - \hat{y}_i$.

- 5) Menentukan bandwidth optimum yang didasarkan pada *Cross Validation* (CV) [3].

$$CV(h) = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{\neq i}(h))^2 \quad (2.6)$$

Dengan $\hat{y}_{\neq i}(h)$ taksiran nilai dari y_i yang mana pengamatan pada setiap lokasi (u_i, v_i) dihilangkan dalam proses pengestimasian.

- 6) Melakukan pemilihan fungsi pembobot kernel untuk menghitung matriks pembobot [3].
Fungsi *Kernel Gaussian*

$$w_j(u_i, v_i) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{d_{ij}}{h}\right)^2\right] \quad (2.7)$$

Dan Fungsi *Kernel Bisquare*

$$w_j(u_i, v_i) = \begin{cases} \left[1 - \left(\frac{d_{ij}}{h}\right)^2\right]^2, & \text{jika } d_{ij} \leq h \\ 0, & \text{jika } d_{ij} > h \end{cases} \quad (2.8)$$

h merupakan parameter penghalus (*bandwidth*).

- 7) Melakukan pemilihan model terbaik berdasarkan nilai CV terkecil.
8) Melakukan estimasi model GWR [3].

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = (\mathbf{X}^t \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^t \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{y} \quad (2.9)$$

Dimana $\hat{\beta}(u_i, v_i)$ merupakan estimator dari parameter $\beta(u_i, v_i)$ dan $\mathbf{W}(u_i, v_i)$ merupakan matriks pembobot.

- 9) Melakukan uji kesesuaian pada model GWR, hipotesisnya:

$$H_0: \beta_k(u_1, v_1) = \dots = \beta_k(u_n, v_n) = \beta_k$$

$$H_1: \text{minimal ada satu } \beta_k(u_i, v_i) \neq \beta_k; k = 1, 2, \dots, p, i = 1, 2, \dots, n$$

Dengan statistik ujinya [3]:

$$F_{hit} = \frac{(SSE(H_0) - SSE(H_1))/v}{SSE(H_1)/\delta_1} \quad (2.10)$$

Dimana $SSE(H_0) = \hat{\boldsymbol{\varepsilon}}^t \hat{\boldsymbol{\varepsilon}} = (\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}})^t (\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}}) = \mathbf{y}^t (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{y}$ dengan $\mathbf{H} = \mathbf{X}(\mathbf{X}^t \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^t$.

- 10) Melakukan uji signifikansi parameter parsial pada model GWR, hipotesisnya:

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

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

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

Dengan statistik ujinya [3]:

$$T_{hit} = \frac{\hat{\beta}_k(u_i, v_i)}{\hat{\sigma} \sqrt{c_{kk}}} \quad (2.11)$$

dengan c_{kk} elemen dari diagonal ke- k matriks $\mathbf{C}\mathbf{C}^t$ dimana

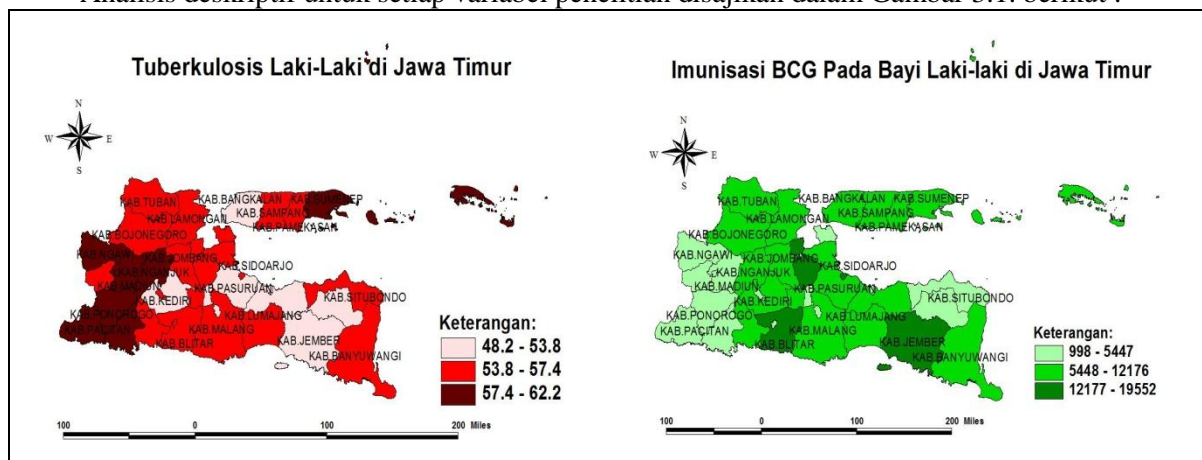
$$\mathbf{C} = (\mathbf{X}^t \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^t \mathbf{W}(u_i, v_i).$$

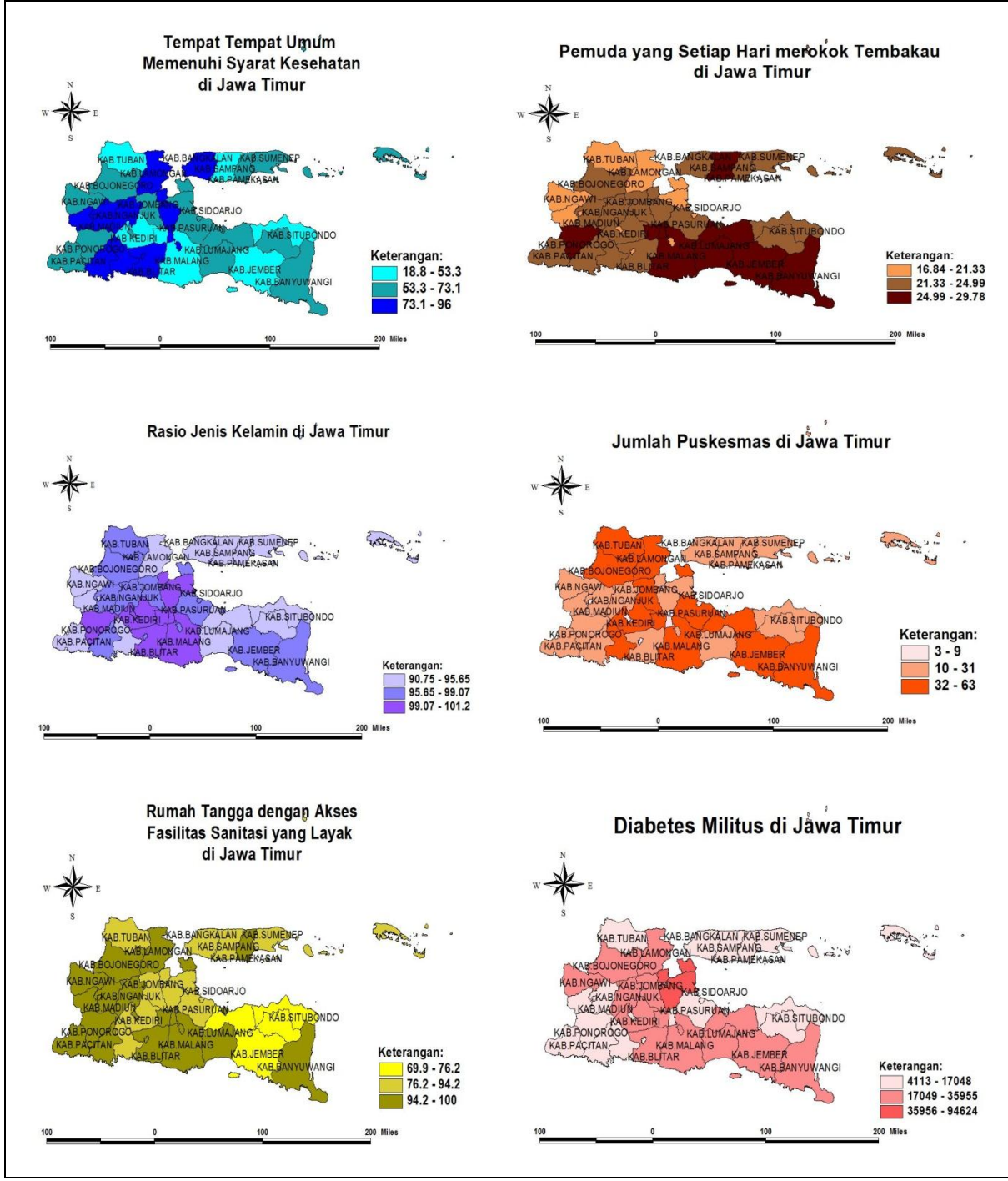
- 11) Melakukan pemilihan model terbaik dengan kriteria nilai R^2 terbesar dan SSE terkecil.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Statistika Deskriptif

Analisis deskriptif untuk setiap variabel penelitian disajikan dalam Gambar 3.1. berikut :





Gambar 3.1. Statistika deskriptif data penelitian

Berdasarkan Gambar 3.1. Statistika deskriptif untuk data tuberkulosis laki-laki dari 38 Kabupaten/Kota wilayah Jawa Timur diperoleh rata-ratanya sebesar 55,88%, dimana kasus tuberkulosis laki-laki terendah berada di Kabupaten Probolinggo sebesar 48,2% dan tertinggi berada di Kota Madiun sebesar 62,2%.

3.2 Pengujian Asumsi Klasik

Tujuan adanya uji asumsi klasik pada pemodelan regresi yaitu untuk mendapatkan sifat estimator parameter yang *BLUE* (*Best Linier Unbiased Estimator*). Asumsi yang digunakan yaitu uji normalitas residual dan juga uji multikolinieritas. Bentuk hipotesis uji normalitas yaitu :

H_0 : residual berdistribusi normal

H_1 : residual tidak berdistribusi normal

Daerah kritis pada uji *Kolmogorov-Smirnov* adalah tolak H_0 jika $D > D_{(38;0,1)} = 0,130$ atau $p\text{-value} < \alpha$ (10%). Penggunaan α sebesar 10% didasarkan pada penggunaan data dalam penelitian ini yaitu data spasial (data makro) dimana unit observasinya wilayah bukan individu (dalam konteks medis yaitu pasien). Dengan bantuan *Software R* didapatkan nilai D sebesar 0,063 dan $p\text{-value}$ sebesar 0,96. maka keputusannya terima H_0 sehingga dapat disimpulkan bahwa residual data tuberculosis laki-laki di Jawa Timur berdistribusi normal. Hal tersebut menunjukkan bahwa data telah memenuhi asumsi normalitas. Selanjutnya uji multikolinieritas dengan nilai VIF ada pada Tabel 3.1.:

Tabel 3.1. Uji multikolinieritas

Nilai	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
VIF	1,33	1,49	1,59	1,54	2,23	1,34	2,43

Berdasarkan Tabel 3.1. diperoleh nilai $VIF < 10$ untuk setiap variabel prediktor, maka dapat disimpulkan tidak ada kasus multikolinieritas dan asumsi multikolinieritas terpenuhi.

3.3 Regresi Linier

Fungsi dalam model regresi linier berganda pada data tuberculosis laki-laki dan faktor-faktor yang diduga berpengaruh didasarkan pada nilai koefisien parameter $\hat{\beta}$.

Tabel 3.2. Taksiran parameter ($\hat{\beta}$) model regresi linier berganda

Variabel	$\hat{\beta}$
Konstanta	72,53
X_1	0,00009406
X_2	-0,02350
X_3	0,2503
X_4	-0,3017
X_5	-0,008965
X_6	-0,2018
X_7	0,000001832

Adapun persamaan regresi linier berganda berdasarkan Tabel 3.2. adalah sebagai berikut:

$$\hat{Y} = 72,53 + 0,00009406X_1 - 0,02350X_2 + 0,2503X_3 - 0,3017X_4 - 0,008965X_5 - 0,2018X_6 + 0,000001832X_7$$

Model diatas memiliki nilai *Sum Square Error* (SSE) sebesar 167,75 dan koefisien determinasi (R^2) sebesar 26,15%. Hal ini berarti persentase variasi total dalam tuberculosis laki-laki yang dapat dijelaskan sebesar 26,15% oleh variabel prediktor yang terdapat dalam persamaan, sedangkan sisanya dijelaskan oleh variabel yang tidak diteliti (diluar model). Selanjutnya pengujian signifikansi parameter secara serentak, hipotesisnya sebagai berikut:

$H_0 : \beta_1 = \dots = \beta_7 = 0$

$H_1 : \text{Paling sedikit satu } \beta_k \neq 0 \text{ dengan } k = 1, 2, \dots, 7$

Tabel 3.3. Uji serentak model regresi linier berganda

DF 1	DF 2	F hitung	P-value
7	30	2,87	0,02

Berdasarkan Tabel 3.3. dapat diketahui bahwa $F_{hitung}(2,87) > F_{(0,9,7,30)}(1,93)$ atau $p - value (0,02) < \alpha (10\%)$, maka diambil keputusan untuk tolak H_0 . Sehingga dari hasil uji serentak menggunakan nilai $\alpha = 10\%$ menunjukkan bahwa minimal ada satu faktor yang memiliki pengaruh pada data tuberkulosis laki-laki di wilayah Jawa Timur.

Hipotesis pengujian signifikansi parsial model regresi linier berganda:

$$H_0: \beta_k = 0$$

$$H_1: \beta_k \neq 0 \text{ dengan } k = 1, 2, \dots, 7$$

Daerah penolakan H_0 jika $|t_{hitung}| > t_{0,1(29)}(1,31)$ atau $p - value \leq \alpha (10\%)$. Dengan menggunakan *software R* hasil perolehan uji parsial ada pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Uji parsial model regresi linier berganda

β_k	T hitung	P-value	Keputusan
β_1	1,04	0,31	Terima H_0
β_2	-0,69	0,49	Terima H_0
β_3	-1,52	0,14	Terima H_0
β_4	-1,59	0,12	Terima H_0
β_5	0,19	0,84	Terima H_0
β_6	3,62	0,001	Tolak H_0
β_7	0,06	0,95	Terima H_0

Berdasarkan Tabel 3.4. didapatkan hasil bahwa fasilitas sanitasi yang layak secara individu berpengaruh terhadap tuberkulosis laki-laki di Jawa Timur.

3.4 Pengujian Asumsi Spasial

Terdapat dua asumsi dasar dalam analisis data spasial, diantaranya asumsi dependensi spasial dan asumsi heterogenitas spasial.

Uji asumsi dependensi spasial hipotesisnya:

$$H_0: I = 0$$

$$H_1: I \neq 0$$

dan hipotesis heterogenitas spasial sebagai berikut :

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_{38}^2 = \sigma^2$$

$$H_1: \text{minimal ada satu } \sigma_i^2 \neq \sigma^2; i = 1, 2, \dots, 38$$

Perhitungan menggunakan *software R* dan $\alpha = 10\%$ didapatkan $p - value$ setiap pengujian asumsi spasial ada pada Tabel 3.5.:

Tabel 3.5. Uji asumsi spasial

Asumsi Spasial	P-value
Dependensi spasial	0,00003
Heterogenitas spasial	0,093

Berdasarkan Tabel 3.5. Hasil kedua pengujian asumsi spasial didapatkan $p - value < \alpha$, maka diambil keputusan untuk tolak H_0 . Hal ini berarti asumsi spasial pada data tuberkulosis laki-laki di Jawa Timur terpenuhi.

3.5 Bandwidth Optimum

Nilai *bandwidth optimum* diperoleh berdasarkan kriteria CV minimum dan R^2 terbesar yang dihasilkan oleh fungsi pembobot. Hasil perhitungan CV terdapat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6. Nilai CV

Fungsi Pembobot	CV	R^2
Fixed Gaussian Kernel	5,68	86,47
Fixed Bisquare Kernel	7,09	64,74

Pada Tabel 3.6. menunjukkan bahwa pembobot *Fixed Gaussian Kernel* memiliki nilai CV paling minimum, yaitu sebesar 5,68 dengan nilai R^2 yang tinggi yaitu 86,47%. Fungsi *Fixed Gaussian Kernel* dengan nilai *bandwidth* sebesar 0,43. Estimasi model tuberkulosis laki-laki di Jawa Timur akan dilakukan dengan pendekatan GWR menggunakan pembobot *Fixed Gaussian Kernel*.

3.6 Uji Kesesuaian Model GWR

Tujuan dari uji kesesuaian yaitu untuk mengetahui apakah dalam model GWR yang sudah terbentuk dapat memberikan informasi yang lebih baik atau tidak jika dibandingkan dengan model regresi linier. Penggunaan α sebesar 10% didasarkan pada penggunaan data dalam penelitian ini yaitu data spasial (data makro) dimana unit observasinya wilayah bukan individu (dalam konteks medis yaitu pasien). Dengan nilai $\alpha = 10\%$, kriteria pengujian H_0 ditolak jika $F > F_{(0,1;17,865;12,135)}$ atau $F > 2,07$. Dengan menggunakan software R didapatkan hasil uji kesesuaian model GWR dalam Tabel 3.7.:

Tabel 3.7. Hasil uji kesesuaian model GWR

Source	DF	SS	MSE	F
GWR Improvement	17,87	129,85	7,267	
GWR Residual	12,14	37,91	3,12	2,33

Pada Tabel 3.7. menunjukkan bahwa nilai F sebesar $2,33 > F_{(0,1;17,87;12,135)} = 2,06$ maka keputusannya tolak H_0 sehingga model regresi spasial GWR sudah sesuai untuk data tuberkulosis laki-laki di Jawa Timur.

3.7 Uji Signifikansi Parameter Pada Model GWR

Tujuan pengujian ini adalah untuk memberikan informasi tentang parameter mana saja yang memiliki pengaruh signifikan pada data tuberkulosis laki-laki di Jawa Timur. Statistik ujinya yaitu uji T dengan nilai $\alpha = 10\%$ dan kriteria pengujian H_0 ditolak jika $|T_{ki}| > t_{(0,1;12,135)} = 1,35$. Dengan *software* R didapat T_{ki} beserta koefisien variabel prediktor pada model GWR. Sebagai contoh, maka diambil analisis hasil estimasi parameter model untuk wilayah yang memiliki persentase penderita tuberkulosis pada laki-laki tertinggi, yaitu Kota Madiun. Hipotesisnya sebagai berikut:

$$H_0 : \beta_k(u_{36}, v_{36}) = 0; k = 1,2,3,4,5,6,7$$

$$H_1 : \beta_k(u_{36}, v_{36}) \neq 0; k = 1,2,3,4,5,6,7$$

Hasil pengujian parsial parameter model GWR diringkas pada Tabel 3.8.:

Tabel 3.8. Pengujian parsial parameter model GWR Kota Madiun

Parameter	Estimasi	T hitung	Keputusan
β_0	72,25	1,21	-

JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI
Diah Puspita Ningrum, Toha Saifudin, Suliyanto, Nur Chamidah

β_1	-0,000006	-0,03	Terima H_0
β_2	0,09	1,17	Terima H_0
β_3	0,15	0,53	Terima H_0
β_4	-0,35	-0,86	Terima H_0
β_5	0,02	0,21	Terima H_0
β_6	0,0030	2,14	Tolak H_0

Berdasarkan pengujian parsial parameter model GWR di Kota Madiun pada Tabel 3.8. diatas, diperoleh model GWR untuk Kota Madiun sebagai berikut:

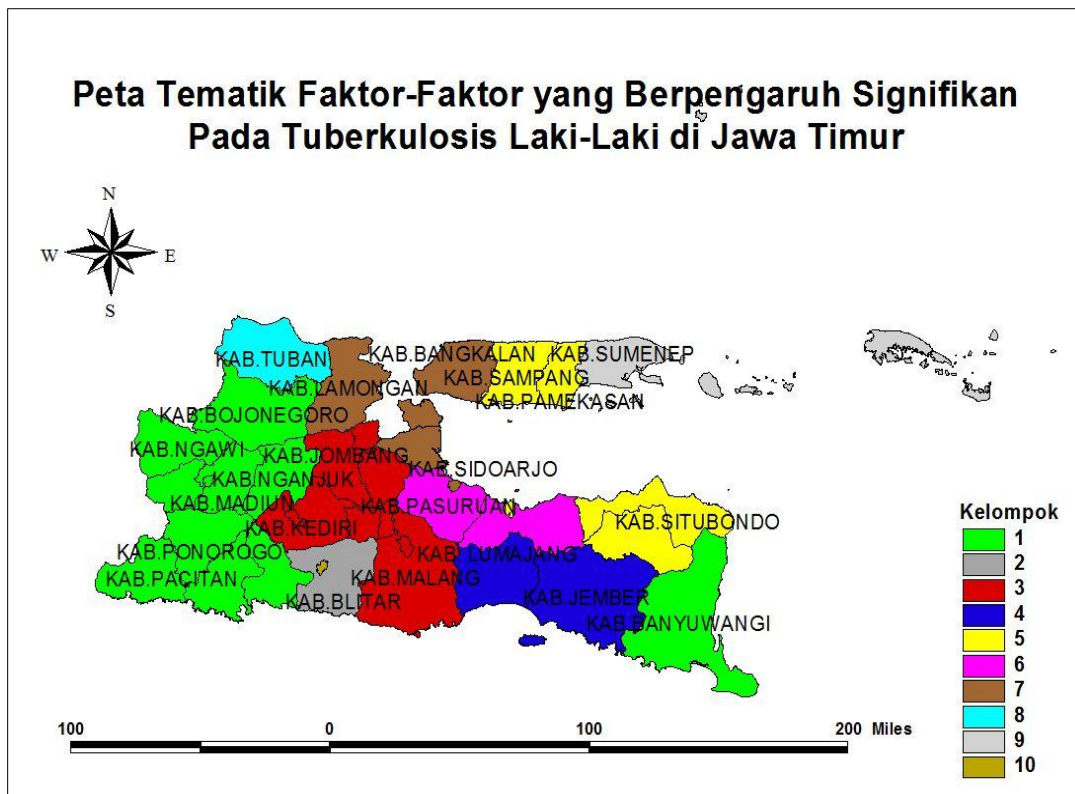
$$\hat{Y} = 72,25 - 0,003X_6$$

Hasil pengujian parsial di Kota Madiun didapatkan bahwa variabel rumah tangga dengan akses fasilitas sanitasi yang layak berpengaruh signifikan. Namun variabel yang berpengaruh di Kota Madiun belum tentu berpengaruh di semua wilayah Kabupaten/Kota Jawa Timur. Variabel prediktor yang memiliki pengaruh signifikan untuk masing-masing wilayah Kabupaten/Kota, dapat dikelompokkan ke dalam beberapa kelompok. Berikut adalah tabel pengelompokannya:

Tabel 3.9. Pengelompokan Kabupaten/Kota di Jawa Timur berdasarkan variabel prediktor yang berpengaruh signifikan

Kelompok	Kabupaten//Kota	Variabel prediktor yang memiliki pengaruh signifikan
1	Kab. Pacitan, Kab. Ponorogo, Kab. Trenggalek, Kab. Tulungagung, Kab. Nganjuk, Kab. Madiun, Kab. Magetan, Kab. Ngawi, Kab. Bojonegoro, Kota Madiun, Kab. Banyuwangi	X_6
2	Kab. Blitar	X_1, X_4, X_6
3	Kab. Kediri, Kab. Malang, Kab. Mojokerto, Kab. Jombang, Kota Kediri, Kota Malang, Kota Mojokerto, Kota Batu	X_1, X_6
4	Kab. Lumajang, Kab. Jember	X_2, X_3, X_6
5	Kab. Bondowoso, Kab. Situbondo, Kab. Sampang, Kab. Pamekasan, Kota Probolinggo	X_2, X_3, X_4, X_6
6	Kab. Probolinggo, Kab. Pasuruan	X_1, X_2, X_3, X_6
7	Kab. Sidoarjo, Kab. Lamongan, Kab. Gresik, Kab. Bangkalan, Kota Pasuruan, Kota Surabaya	X_1, X_2, X_6
8	Kab. Tuban	X_3
9	Kab. Sumenep	X_2, X_3, X_4
10	Kota Blitar	X_1, X_4, X_6

Berdasarkan Tabel 3.9. dapat diketahui faktor-faktor yang memiliki pengaruh signifikan untuk data tuberkulosis laki-laki di masing-masing Kabupaten/Kota wilayah Jawa Timur. Peta tematik dari faktor-faktor yang berpengaruh signifikan ditunjukkan Gambar 3.2.:



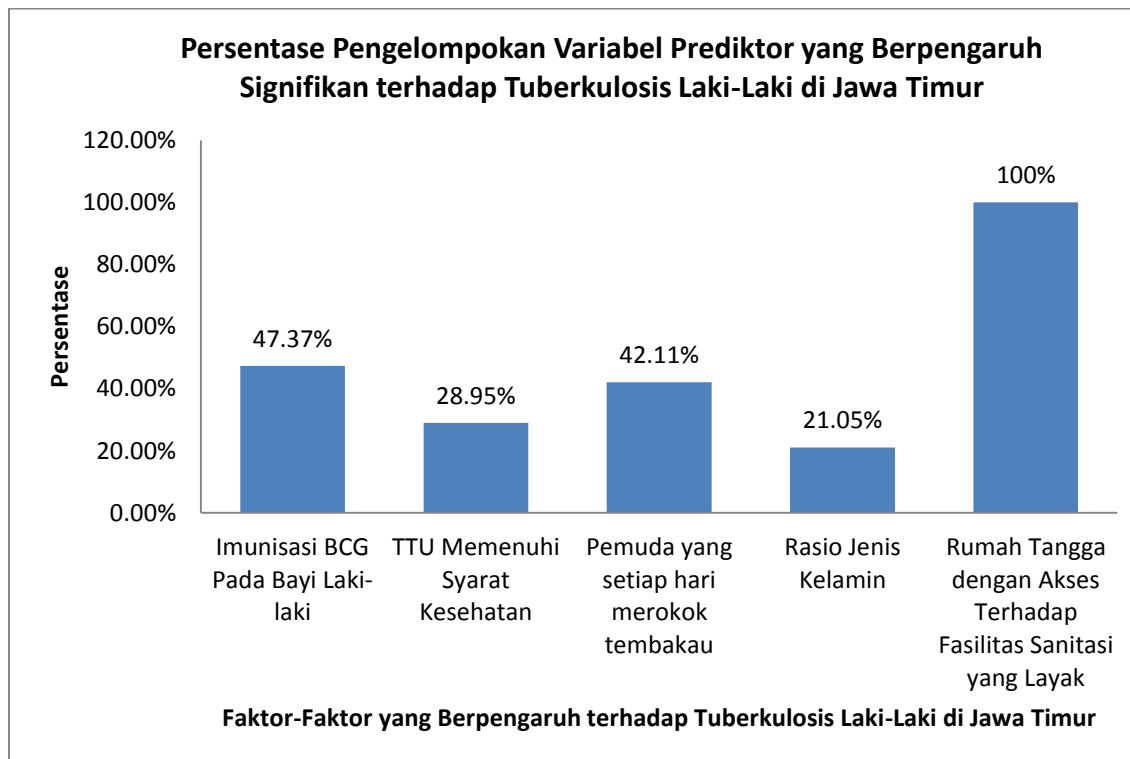
Gambar 3.2. Peta tematik faktor-faktor yang memiliki pengaruh signifikan pada tuberkulosis laki-laki di wilayah Jawa Timur

Berdasarkan hasil pengelompokan pada Gambar 3.2. banyaknya Kabupaten/Kota untuk tiap variabel yang memiliki pengaruh terhadap tuberkulosis laki-laki di wilayah Jawa Timur dapat ditunjukkan pada Tabel 3.10. sebagai berikut:

Tabel 3.10. Pengelompokan variabel prediktor yang berpengaruh signifikan terhadap tuberkulosis laki-laki di Jawa Timur

Variabel yang Berpengaruh Signifikan	Total Kabupaten/Kota
Imunisasi BCG Pada Bayi Laki-laki	18
TTU Memenuhi Syarat Kesehatan	11
Pemuda yang setiap hari merokok tembakau	16
Rasio Jenis Kelamin	8
Rumah Tangga dengan Akses Terhadap Fasilitas Sanitasi yang Layak	38

Berdasarkan Tabel 3.10. dapat diketahui banyaknya Kabupaten/Kota untuk tiap variabel yang memiliki pengaruh signifikan terhadap tuberkulosis laki-laki di wilayah Jawa Timur. Persentase dari Tabel 3.10 disajikan dalam Gambar 3.3. sebagai berikut :



Gambar 3.3. Persentase pengelompokan variabel prediktor yang berpengaruh signifikan terhadap tuberkulosis laki-laki di Jawa Timur

Berdasarkan Gambar 3.3. dari total 38 Kabupaten/Kota di Jawa Timur, secara signifikan variabel rumah tangga dengan akses fasilitas sanitasi yang layak berpengaruh di seluruh Kabupaten/Kota wilayah Jawa Timur. Selanjutnya faktor imunisasi BCG pada bayi laki-laki sebesar 47,37%, variabel pemuda yang setiap hari merokok tembakau sebesar 42,11%, variabel TTU memenuhi syarat kesehatan sebesar 28,95% dan variabel rasio jenis kelamin sebesar 21,05%.

3. Pemilihan Model Terbaik

Pemilihan model terbaik bagi data tuberkulosis di wilayah Jawa Timur dengan membandingkan nilai R^2 dan SSE pada model regresi linier dan juga GWR. Penggunaan kriteria dalam menentukan model yang terbaik yaitu mempunyai nilai R^2 terbesar dan SSE terkecil. Hasil perbandingan kriteria pemilihan model terbaik pada Tabel 3.11.:

Tabel 3.11. Perbandingan model regresi linier dan GWR

Model	SSE	R^2
Regresi Linier	167,75	26,15%
GWR	37,91	86,47%

Berdasarkan Tabel 3.11. pada model regresi linier diperoleh nilai R^2 sebesar 26,15% dan nilai SSE sebesar 167,75. Sedangkan pada model GWR diperoleh nilai R^2 sebesar 86,47% dan nilai SSE sebesar 37,91. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa hasil pemodelan terbaik dengan menggunakan metode GWR.

4. KESIMPULAN

Hasil pemodelan tuberkulosis laki-laki di Jawa Timur menggunakan regresi linier dan GWR diperoleh model terbaik adalah GWR dengan pembobotan *Fixed Gaussian Kernel*, nilai CV sebesar 5,68, nilai SSE sebesar 37,91, dan R^2 sebesar 86,47%. Variabel yang memiliki pengaruh signifikan pada tuberkulosis laki-laki di wilayah Jawa Timur adalah imunisasi BCG pada bayi laki-laki, TTU memenuhi syarat kesehatan, pemuda yang setiap hari merokok tembakau, rasio jenis kelamin, dan rumah tangga dengan akses fasilitas sanitasi yang layak. Berdasarkan hal tersebut, pemerintah dapat membuat kebijakan untuk memperbaiki kembali faktor-faktor yang berpengaruh pada penyakit tuberkulosis laki-laki. Khususnya di Kota Madiun yang merupakan daerah dengan penderita tuberkulosis laki-laki tertinggi, akses sanitasi layak sangat diperlukan Kota Madiun guna meminimalisir penyebaran tuberkulosis. Namun tidak hanya pemerintah, peran masyarakat juga dibutuhkan dalam menekan kasus tuberkulosis di Jawa Timur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPS. 2020. *Indikator Tujuan Pembangunan Berkelanjutan Indonesia 2020*. Badan Pusat Statistik, Jakarta. <https://www.bps.go.id/publication/2020/12/17/7a6c6ad8f95681d0050e7d89/indikator-tujuan-pembangunan-berkelanjutan--tpb--indonesia-2020.html>. [12 Agustus 2021]
- [2] Dinas Kesehatan Provinsi Jawa Timur. 2021. *Profil Kesehatan Jawa Timur 2020*. Dinas Kesehatan Provinsi Jawa Timur, Surabaya. <https://dinkes.jatimprov.go.id/userfile/dokumen/PROFIL%20KESEHATAN%202020.pdf>. [11 Agustus 2021]
- [3] Fotheringham, A. S., Brunson, C. dan Charlton, M. E., 2002. *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationship*. John Wiley & Sons Inc., New York.
- [4] Gujarati, D. N., 2004. *Basic Econometrics*, 4th Edition. McGraw-Hill., New York.
- [5] Infodatin. 2018. *Tuberkulosis*. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. <https://pusdatin.kemkes.go.id/resources/download/pusdatin/infodatin/infodatin-tuberkulosis-2018.pdf>. [27 Agustus 2021]
- [6] Kemenkes RI. 2020. *Strategi Nasional Penanggulangan Tuberkulosis di Indonesia 2020-2024*. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. <https://tbindonesia.or.id/wp-content/uploads/2021/06/NSP-TB-2020-2024-Ind-Final-BAHASA.pdf>. [12 September 2021]
- [7] Lee, J. & Wong, D. W. S., 2001. *Statistical Analysis with Arcview GIS*. John Wiley & Sons Inc., New York.
- [8] LeSage, J.P. & Bernard, C. A., 2011. *Quantifying Knowledge Spillovers Using Spatial Econometric Tools*. Boca Ration R Press, New York.
- [9] Mumtaz, T., & Utomo, A., P., 2018. Modelling The Number Of New Pulmonary Tuberculosis Cases with Geographically Weighted Binomial Regression Method. *Indonesian Journal of Statistics and Its Applications*. Vol 2, No 2, 77-92.
- [10] Narasimhan, P., Wood, J., MacIntyre, C.R. & Mathai, D., 2013. Risk Factors for Tuberculosis. *Pulmonary Medicine*. Vol 2013, 1-11.
- [11] Noorcintanami, S., Widyaningsih, Y., dan Abdullah, S. 2021. Geographically weighted models for modelling the prevalence of tuberculosis in Java. *Journal of Physics: Conference Series, 240th ECS Meeting*, Digital Meeting, October 10-14.
- [12] Razali, N. M. dan Wah, Y. B. 2011. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*. Vol 2, No 1, 21-33.

- [13] Rencher, A. C., dan Schaalje, G. B., 2008. *Linier Models in Statistics, Second Edition*. John Wiley & Sons Inc., New York.
- [14] Rizky, H. P., Pramesti, W., dan Anuraga, G., 2020. Penggunaan Analisis Kluster K-Means dalam Pemodelan Regresi Spasial Pada Kasus Tuberkulosis di Jawa Timur Tahun 2017. *Indonesian Journal of Statistics and Its Applications*. Vol 4, No 1, 164-178.
- [15] TB Indonesia. 2020. *Dashboard TB*. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. <https://tbindonesia.or.id/pustaka-tbc/dashboard-tb/>. [14 September 2021]
- [16] Ugarte-Gill, C., Alisjahbana, B., Ronacher, K., Riza, A. L., Koesoemadinata, R. C., Malherbe, S. T., Ciobota, R., Llontop, J. C., Kleynhans, L., Lopez, S., Santoso, P., Marius, C., Villaizan, K., Ruslami, R., Walzl, G., Panduru, N. M., Dpckrell, H. M., Hill, P. C., Allister, S. Mc., Pearson, F., Moore, D. A. J., Critchley, J. A., Crevel, R. V., 2019. Diabetes Mellitus Among Pulmonary Tuberculosis Patients From 4 Tuberculosis-endemic Countries: The TANDEM Study. *Clinical Infectious Diseases*. Vol 70, No 5, 780-788.
- [17] WHO, 2021. *Tuberculosis*. World Health Organization. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/tuberculosis>. [20 September 2021]