

Pemodelan Kasus Tuberkulosis di Jawa Tengah dengan *Geographically Weighted Negative Binomial Regression*

Andini Putri Mediani¹, Toha Saifudin^{2*}, Nur Chamidah³

^{1,2,3} Departemen Matematika Universitas Airlangga Surabaya Indonesia

^{1,2,3} Jalan Dr. Ir. H. Soekarno, Mulyorejo, Kec. Mulyorejo, Surabaya, Jawa Timur 60115 Indonesia

* Corresponding author's e-mail: tohasaifudin@fst.unair.ac.id

Diajukan: 10 Juni 2024, Diperbaiki: 5 Nopember 2024, Diterima: 18 Nopember 2024

Abstrak

Tuberkulosis (TB) dianggap sebagai permasalahan kesehatan global yang utama karena menjadi salah satu penyakit menular yang mematikan di seluruh dunia. *World Health Organization* (WHO) mengategorikan sebanyak 30 negara di dunia dengan beban tinggi kasus TB dengan Negara Indonesia menempati peringkat kedua dalam kategori beban tinggi tersebut. Salah satu provinsi dengan penderita terbanyak kasus TB adalah Provinsi Jawa Tengah. Banyaknya penderita TB di Kabupaten Jawa Tengah menunjukkan bahwa terdapat faktor-faktor yang memengaruhi tingginya kasus TB, sehingga perlu dilakukan analisis secara statistik untuk mengetahui penyebab terjadinya permasalahan tersebut sekaligus mendukung upaya pengendalian penyebaran dan dampak epidemi TB. Pada jumlah kasus TB yang berupa data diskrit, regresi Poisson merupakan metode yang sesuai untuk memodelkan data diskrit dengan asumsi ekuidispersi yang harus terpenuhi. Namun, untuk kasus TB di Jawa Tengah asumsi tersebut tidak terpenuhi, dengan kata lain terdapat overdispersi. Overdispersi dapat ditangani dengan regresi Binomial Negatif, tetapi dengan mempertimbangkan faktor spasial metode yang sesuai untuk digunakan adalah *Geographically Weighted Negative Binomial Regression* (GWNBR). Hasil diperoleh fungsi pembobot untuk GWNBR adalah *Fixed Gaussian* dengan nilai CV terkecil 4427790. Pemodelan dengan GWNBR lebih baik dalam memodelkan jika dibandingkan dengan regresi global. Hal ini diperkuat oleh nilai AIC terkecil, yakni 370,14 sehingga permasalahan overdispersi sudah teratasi. Kemudian, variabel yang berpengaruh signifikan pada setiap kabupaten dan kota di Jawa Tengah adalah persentase rumah tangga yang memiliki sumber air minum layak, jumlah tenaga kesehatan, rasio jenis kelamin, dan jumlah penduduk usia produktif dengan besar pengaruh yang berbeda-beda.

Kata Kunci: Tuberkulosis, Data Diskrit, Overdispersi, GWNBR

Abstract

Tuberculosis (TB) is a major global health problem as it is one of the deadliest infectious diseases worldwide. The World Health Organization (WHO) categorizes 30 countries in the world with a high burden of TB cases, Indonesia is ranked number two in this category. One of the provinces with the highest number of TB cases is Central Java. The large number of TB infected people in Central Java indicates there are factors that affect the high number of TB cases, hence the need for statistical analysis to determine the causes of the problem while controlling the spread and impact of the TB epidemic. The number of TB cases is discrete data, the Poisson distribution is a suitable method for modeling with the assumption of equidispersion that must be fulfilled. However, in practice this assumption is often not fulfilled, resulting in overdispersion. Overdispersion can be handled with Negative Binomial regression, but considering spatial factors the appropriate method to use is Geographically Weighted Negative Binomial Regression (GWNBR). The result shows that weighting function for GWNBR is Fixed Gaussian with the smallest CV 4427790. Modeling with GWNBR is better compared to global regression. This is strengthened by the smallest AIC value 370.14 therefore overdispersion has been resolved. Then, the variables that have significant effect on each district in Central Java are the percentage of households that have a proper

drinking water source, the number of health workers, the sex ratio, and the number of productive age population with different surface of parameter estimates.

Keywords: Tuberculosis, Discrete Data, Overdispersion, GWNBR.

1 Pendahuluan

Tuberkulosis (TB) dianggap sebagai permasalahan kesehatan global yang utama karena menjadi salah satu penyakit menular yang mematikan di seluruh dunia. *Mycrobacterium Tuberculosis* merupakan bakteri penyebab TB yang akan menyebar ketika penderita batuk, bersin, atau sedang berbicara. Percikan – percikan yang dikeluarkan tersebut dapat mengontaminasi udara dengan membawa bakteri, sehingga apabila terhirup oleh orang lain dapat menyerang organ tubuh manusia [1].

World Health Organization (WHO) memperkirakan 10,6 juta orang terjangkit TB di seluruh dunia pada tahun 2021, sedangkan pada tahun 2020 ditemukan sebanyak 10,1 juta orang terjangkit TB. Jumlah tersebut menunjukkan terjadinya peningkatan kasus TB di dunia sebesar 4,5%. Kemudian, diperkirakan terdapat 1,6 juta kematian akibat penyakit TB di seluruh dunia. Selanjutnya, WHO mengategorikan sebanyak 30 negara di dunia dengan beban tinggi kasus TB. Pengkategorian tersebut diperoleh dari 20 negara teratas dalam insidensi TB yang kemudian ditambah dengan 10 negara pemilik beban TB paling parah (kasus baru untuk setiap 100.000 penduduk di tahun 2019) yang tidak termasuk dalam 20 negara tersebut. Ketiga puluh negara tersebut diperkirakan dari seluruh perkiraan kasus di dunia telah menyumbang angka sebesar 87% pada tahun 2021 dengan Negara Indonesia menempati peringkat kedua, yakni sebesar 9,2% [2].

Apabila ditinjau lebih lanjut untuk berdasarkan provinsi di Indonesia, salah satu provinsi dengan penderita terbanyak untuk kasus TB pada tahun 2021 adalah Provinsi Jawa Tengah. Terdapat 40.582 kasus penderita TB, 22.461 adalah penduduk laki – laki dan 18.121 adalah penduduk perempuan. Selain itu, tingkat keberhasilan pengobatan tuberkulosis di Jawa Tengah 2 masih belum mencapai target yang telah ditetapkan dalam Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 67 Tahun 2021 mengenai Penanggulangan Tuberkulosis. Angka keberhasilan pengobatan di Jawa Tengah sebesar 83,5% sedangkan angka minimal sebesar 90% [3].

Jumlah penderita TB di Kabupaten Jawa Tengah tersebut menunjukkan bahwa terdapat faktor-faktor yang memengaruhi tingginya kasus TB, sehingga perlu dilakukan analisis secara statistik untuk mengetahui penyebab terjadinya permasalahan tersebut. Penelitian [4] tentang penerapan regresi Poisson dalam kasus TB di Kota Bandung diperoleh bahwa terdapat pengaruh persentase penduduk dengan akses air minum layak terhadap jumlah kasus TB. Sedangkan,

penelitian [5] menggunakan analisis univariat, bivariat, dan multivariat regresi logistik diperoleh hasil pengaruh paling dominan terhadap TB di Indonesia adalah seseorang yang pernah dinyatakan menderita TB oleh tenaga kesehatan.

Namun, dengan keberagaman kondisi sosial budaya, ekonomi, dan geografis kabupaten dan kota di Jawa Tengah, pengaruh dari faktor – faktor pada kasus TB di setiap lokasi pengamatan dapat berbeda. Perlu digunakan metode yang dapat mempertimbangkan faktor spasial. Salah satu metodenya adalah *Geographically Weighted Regression* (GWR). Metode tersebut digunakan apabila variabel pada data berdistribusi normal [6]. Penelitian [7] dengan metode GWR diperoleh bahwa faktor rasio jenis kelamin memiliki pengaruh terhadap persentase penderita penyakit TB di Jawa Timur. Penelitian [8] dilakukan di Sumatera Utara dengan metode yang sama diperoleh hasil bahwa jumlah penduduk usia produktif memiliki pengaruh terhadap jumlah kasus TB di Sumatera Utara.

Pada jumlah kasus TB yang berupa data diskrit (*count*) metode GWR tidak sesuai untuk memodelkan data berjenis tersebut [9]. Terdapat metode yang mempertimbangkan distribusi dari variabel respon kasus TB dan juga faktor spasial, yakni *Geographically Weighted Poisson Regression* (GWPR) yang merupakan pengembangan dari regresi Poisson [10]. Model dari regresi Poisson akan baik apabila asumsi ekuidispersi terpenuhi, dimana nilai dari varians sama dengan rata-ratanya. Namun, pada penerapannya sering kali asumsi tersebut tidak terpenuhi dan akan terjadi overdispersi. Overdispersi akan menyebabkan *standard error* menjadi lebih rendah daripada nilai yang sebenarnya, sehingga variabel prediktor menjadi signifikan padahal sebenarnya tidak signifikan [11].

Salah satu penanganan overdispersi, yakni dengan menggunakan regresi Binomial Negatif. Untuk data spasial, digunakan distribusi Binomial Negatif dengan memperhitungkan faktor spasial pengembangan GWR, yakni *Geographically Weighted Negative Binomial Regression* (GWNBR) [12]. Penelitian [13] mengenai pemodelan kasus TB di Jawa menggunakan GWPR dan GWNBR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemodelan dengan metode GWNBR lebih optimal karena nilai AIC yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan pendekatan GWPR.

Berdasarkan uraian tersebut, maka analisis pemodelan kasus Tuberkulosis (TB) akan dilakukan dengan data tahun 2021 di Jawa Tengah dengan menggunakan GWNBR. Kebaruan pada penelitian ini adalah penggunaan data baru dan empat variabel prediktor yang berbeda dengan penelitian sebelumnya, yakni persentase rumah tangga yang memiliki akses sumber air minum layak, jumlah tenaga kesehatan, rasio jenis kelamin, dan jumlah penduduk usia produktif. Hasil dari analisis ini diharapkan mampu menjadi masukan serta referensi untuk mencapai kebijakan

pemerintah dalam upaya pencapaian target pembangunan berkelanjutan di bidang kesehatan, khususnya dalam mengatasi penyebaran dan dampak epidemi TB.

2 Metode Penelitian

2.1 Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder dari publikasi Dinas Kesehatan Jawa Tengah dan Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2021. Jumlah data sebanyak 35 kabupaten dan kota yang berada di Provinsi Jawa Tengah. Kemudian, peubah respon yang digunakan adalah jumlah kasus Tuberkulosis (TB) di Provinsi Jawa Tengah tahun 2021 sedangkan untuk peubah prediktor yang digunakan merupakan faktor–faktor yang diduga memiliki pengaruh terhadap jumlah kasus TB di Jawa Tengah. Variabel penelitian secara lengkap disajikan pada Tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1. Variabel – variabel penelitian

No.	Variabel	Keterangan	Skala Data	Satuan
1	Y	Jumlah Kasus Tuberkulosis (TB)	Diskrit	Orang
2	X_1	Persentase Rumah Tangga yang Memiliki Akses Sumber Air Minum Layak	Kontinu	Persen
3	X_2	Jumlah Tenaga Kesehatan	Diskrit	Orang
4	X_3	Rasio Jenis Kelamin	Kontinu	Persen
5	X_4	Jumlah Penduduk Usia Produktif	Diskrit	Orang
6	u_i	Lintang Kabupaten / Kota ke- i	Interval	Derajad
7	v_i	Bujur Kabupaten / Kota ke- i	Interval	Derajad

2.2 Pemodelan Regresi Poisson

Regresi poisson merupakan model regresi pada data diskrit yang sederhana. Asumsi yang perlu dipenuhi pada regresi Poisson adalah varians yang sama dengan rata–rata. Regresi ini memiliki tujuan untuk mengetahui adanya hubungan peubah bebas terhadap peubah respon, yakni $Y \sim Poisson(\mu)$ [14]. Adapun model regresi Poisson sebagai berikut:

$$\mu_i = \exp(\beta_0 + \sum_{k=1}^p \beta_k X_k) = \exp(\mathbf{X}_i^t \boldsymbol{\beta}) \tag{1}$$

Pada model regresi Poisson dibutuhkan pengujian untuk parameternya dimana akan dilakukan uji simultan atau uji secara serentak. Pengujian memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh peubah prediktor terhadap peubah respon secara keseluruhan sekaligus untuk mendapatkan nilai devians yang akan digunakan dalam pengecekan overdispersi [15].

2.3 Pengecekan Overdispersi

Overdispersi adalah kondisi yang terjadi pada analisis regresi Poisson ketika peubah respon memiliki nilai varians lebih besar dibandingkan nilai rata-ratanya. Adanya kasus overdispersi dapat mengakibatkan kesimpulan yang kurang tepat karena nilai standar eror dari estimator regresi yang dihasilkan menjadi lebih kecil dari diharapkan, sehingga mengakibatkan parameter menjadi signifikan padahal sebenarnya tidak signifikan. Hal ini akan menyebabkan prediksi dan interpretasi yang kurang tepat terhadap model [11].

Overdispersi terjadi ketika nilai varians lebih besar dari nilai ekspektasi atau dapat dituliskan dengan $Var(Y) > E(Y)$. Adapun hubungan untuk parameter dispersi (ϕ) dengan varians dan rata-rata dalam regresi Poisson adalah sebagai berikut [16],

$$Var(Y) = \phi E(Y) \quad (2)$$

dimana,

$$\phi = \frac{D(\hat{\beta})}{df} \quad (3)$$

dengan $D(\hat{\beta})$ merupakan nilai devians dengan perhitungan sebagai berikut,

$$D(\hat{\beta}) = 2[\ln L(\hat{\Omega}) - \ln L(\hat{\omega})] \quad (4)$$

dan df adalah derajat bebas $n - k - 1$. Adapun kriteria yang menyatakan data regresi Poisson terjadi overdispersi apabila $\phi > 1$ [17].

2.4 Regresi Binomial Negatif

Data yang memiliki overdispersi dapat diatasi dengan melibatkan parameter yang berasal dari distribusi gamma dalam mean model Poisson. Proses ini akan menghasilkan distribusi Poisson-Gamma (campuran) yang menyerupai Distribusi Binomial Negatif [11]. Adapun model regresi Binomial Negatif sebagai berikut:

$$\mu_i = \exp(\beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \dots + \beta_p X_{ip}) = \exp(\mathbf{X}_i^T \boldsymbol{\beta}) \quad (5)$$

2.5 Pengujian Dependensi dan Heterogenitas Spasial

Penelitian ini melakukan pengujian dependensi spasial untuk mendeteksi adanya dependensi spasial antar wilayah dengan melakukan uji korelasi spasial dengan statistik *Moran's I* sedangkan pengujian heterogenitas spasial yang digunakan untuk mendeteksi adanya keberagaman antar wilayah pengamatan menggunakan uji *Breusch-Pagan*.

2.6 Pemodelan *Geographically Weighted Negative Binomial Regression*

Geographically Weighted Negative Binomial Regression (GWNBR) merupakan pengembangan dari regresi Binomial Negatif. Namun, terdapat perbedaan dalam kedua regresi tersebut yang terletak pada pembobot. GWNBR membutuhkan pembobot dengan u_i sebagai garis

lintang (*latitude*) dan v_i sebagai garis bujur (*longitude*). Selain itu, hasil parameter dari model GWNBR bersifat lokal [9]. Adapun model GWNBR adalah sebagai berikut:

$$y_i \sim NB[\exp(\sum_{k=0}^p \beta_k(u_i, v_i) X_{ik}, \theta(u_i, v_i)), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

dengan,

- y_i : nilai pengamatan peubah respon ke – i
- X_{ik} : nilai pengamatan peubah prediktor ke-k pada wilayah pengamatan (u_i, v_i)
- $\beta_k(u_i, v_i)$: koefisien regresi peubah prediktor untuk setiap wilayah (u_i, v_i)
- $\theta(u_i, v_i)$: parameter dispersi untuk setiap wilayah (u_i, v_i)

2.7 Peta Tematik

Pada penelitian ini digunakan peta tematik Provinsi Jawa tengah menurut kabupaten dan kota berdasarkan klasifikasi besaran pengaruh variabel prediktor.

2.8 Tahapan Analisis Data

Tahapan analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut,

1. Mendeskripsikan jumlah kasus penderita Tuberkulosis di Provinsi Jawa Tengah dan variabel – variabel prediktornya berdasarkan nilai rata–rata, nilai terkecil, dan nilai terbesar.
2. Melakukan uji multikolinieritas berdasarkan kriteria korelasi dengan nilai VIF.
3. Memodelkan regresi Poisson data jumlah kasus TB di Jawa Tengah pada tahun 2021 dengan langkah sebagai berikut,
 - a. Melakukan estimasi parameter dari model regresi Poisson.
 - b. Melakukan pengujian signifikansi parameter, uji serentak dan parsial pada model regresi Poisson.
4. Melakukan pengecekan overdispersi pada data jumlah kasus TB di Jawa Tengah pada tahun 2021.
5. Memodelkan regresi Binomial Negatif data jumlah kasus TB di Jawa Tengah pada tahun 2021 dengan langkah sebagai berikut,
 - a. Melakukan estimasi parameter model regresi binomial negatif.
 - b. Melakukan pengujian signifikansi parameter, uji serentak dan parsial pada model regresi Binomial Negatif.
 - c. Melakukan perbandingan nilai dispersi model regresi Poisson dan regresi Binomial Negatif.
6. Melakukan uji asumsi data spasial dengan langkah sebagai berikut,
 - a. Melakukan uji dependensi spasial data jumlah kasus TB dengan *Moran's I*.

- b. Melakukan uji heterogenitas spasial data jumlah kasus TB dengan *Breusch-Pagan*.
7. Memodelkan data jumlah kasus TB di Jawa Tengah pada tahun 2021 dengan metode GWNBR. Langkah – langkah analisis sebagai berikut:
 - a. Menghitung fungsi pembobot Fixed Gaussian, Fixed Bi-Square, Adaptive Gaussian, dan Adaptive Bi-Square sekaligus menentukan bandwidth optimum dari fungsi pembobot dengan menggunakan nilai *Cross Validation* (CV) terkecil.
 - b. Memperoleh hasil estimasi parameter model GWNBR dengan pembobot terbaik.
 - c. Melakukan uji kesesuaian antara regresi Binomial Negatif dan GWNBR, uji serentak, dan parsial parameter model GWNBR.
 - d. Menghitung nilai *Akaike Information Criterion* (AIC) model GWNBR.
 - e. Melakukan perbandingan nilai AIC antara model regresi Poisson, regresi Binomial Negatif, dan GWNBR untuk memperoleh model terbaik.
8. Menginterpretasikan model GWNBR.
9. Mendeskripsikan besaran pengaruh peubah prediktor terhadap jumlah kasus TB di Jawa Tengah dengan peta tematik.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Statistika Deskriptif Data Penelitian

Data Penelitian akan dijelaskan dengan menggunakan statistika deskriptif untuk mengetahui gambaran umum dari variabel respon dan masing – masing variabel penduga, yaitu berdasarkan nilai rata-rata, nilai terkecil, dan nilai tertinggi.

Tabel 2. Nilai Statistika Deskriptif

No.	Variabel	Rata-rata	Maksimum	Minimum
1.	Y	1.159,49	3.560	312
2.	X_1	94,38	100	76,14
3.	X_2	646.688,29	1.685.909	82.959
4.	X_3	100,88	103,94	96,84
5.	X_4	3.085,26	11.140	1.419

Berdasarkan Tabel 2 diperoleh rata–rata kasus Tuberkulosis di Jawa Tengah tahun 2021 sebesar 1.159,49 kasus. Kabupaten Banyumas merupakan kabupaten dengan penderita TB tertinggi, yakni sebanyak 3.560 dan terendah adalah Kabupaten Karanganyar, yakni sebanyak 312 kasus. Sementara itu, rata–rata untuk persentase rumah tangga yang memiliki akses sumber air minum layak di Jawa Tengah mencapai 94,38% dengan posisi tertinggi di Kota Tegal dan Kota Magelang sebesar 100% dan terendah di Kabupaten Grobogan, yakni sebesar 76,14%. Rata–rata

jumlah tenaga kesehatan di Jawa Tengah sebesar 646.688,29 dengan posisi tertinggi di Kota, yakni sebanyak 1.685.909 dan terendah di Kota Magelang, yakni sebanyak 82.959. Rata-rata rasio jenis kelamin atau perbandingan jumlah penduduk laki-laki dengan 100 penduduk perempuan di Jawa Tengah sebesar 100,88 dengan posisi tertinggi di Kabupaten sebesar 103,94 dan terendah di Kota Surakarta sebesar 96,84. Rata-rata jumlah usia produktif sebesar 3.085,26 dengan posisi tertinggi di Kota Semarang sebanyak 11.140 dan terendah di Kota Salatiga sebanyak 1.419.

3.2 Pengujian Multikolinieritas

Pengujian multikolinieritas dilakukan untuk menunjukkan tidak adanya korelasi antar satu peubah prediktor dengan peubah prediktor yang lain. Apabila terjadi korelasi antar peubah prediktor akan menimbulkan multikolinieritas. Deteksi multikolinieritas pada data ini digunakan nilai *Variance Inflation Factor* (VIF). Apabila nilai VIF melebihi 10, maka terjadi multikolinieritas. Adapun nilai VIF untuk masing – masing variabel sebagai berikut,

Tabel 3. Nilai VIF untuk Masing-masing Variabel

Variabel	X_1	X_2	X_3	X_4
Nilai VIF	1,214943	3,314385	1,985118	4,670150

Berdasarkan nilai VIF pada Tabel 3 diperoleh hasil untuk setiap peubah bernilai lebih kecil dari 10, yang berarti tidak ada multikolinieritas atau tidak ada korelasi antar peubah prediktor.

3.3 Pemodelan Regresi Poisson

Tabel 4. Hasil Estimasi Parameter Regresi Poisson

Parameter	Koefisien	Standar Error	Z_{hitung}	$p - value$
$\hat{\beta}_0$	-20,58	0,4331	-47,513	< 2e-16
$\hat{\beta}_1$	0,02292	0,001027	22,326	< 2e-16
$\hat{\beta}_2$	0,000000093	0,000000021	4,362	0,0000129
$\hat{\beta}_3$	0,2431	0,003928	61,904	< 2e-16
$\hat{\beta}_4$	0,0002423	0,000003972	61,015	< 2e-16
Devians	5288,8			
df	30			

Berdasarkan Tabel 4 didapatkan persamaan model untuk metode regresi Poisson adalah $\mu = \exp(-20,58 + 0,02292X_1 + 0,000000093X_2 + 0,2431X_3 + 0,0002423X_4)$. Kemudian, dilakukan pengujian signifikansi parameter model regresi Poisson secara serentak. Nilai devians pada Tabel 4 bernilai sebesar 5288,8. Apabila digunakan taraf signifikansi 5% maka diperoleh nilai $\chi^2_{(0,05;4)} = 9,488$, sehingga keputusan untuk uji serentak adalah tolak H_0 karena nilai

$D(\hat{\beta}) > \chi^2_{(0,05;4)}$ atau $5288,8 > 9,488$. Hasil tersebut dapat diartikan terdapat minimal satu peubah prediktor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap peubah respon.

3.4 Pengecekan Overdispersi

Hasil dari pemodelan regresi Poisson selanjutnya akan dilakukan pengecekan apakah terjadi overdispersi pada model. Terjadi overdispersi apabila hasil pembagian dari nilai devians regresi Poisson dengan derajat bebas bernilai lebih dari 1. Tabel 4 menunjukkan nilai devians sebesar 5288,8 dengan derajat bebas 30. Hasil rasio didapatkan sebesar 176,29. Nilai tersebut lebih dari 1 sehingga diindikasikan model regresi Poisson mengalami overdispersi. Terdapat salah satu metode untuk mengatasi kasus overdispersi tersebut, yakni dengan menggunakan regresi Binomial Negatif.

3.5 Pemodelan Regresi Binomial Negatif

Tabel 5. Hasil Estimasi Parameter Regresi Binomial Negatif

Parameter	Koefisien	Standar Error	Z_{hitung}	$p - value$
$\hat{\beta}_0$	-17,11	4,937	-3,466	0,000528
$\hat{\beta}_1$	0,02659	0,01197	2,221	0,026331
$\hat{\beta}_2$	0,000000067	0,00000028	0,246	0,805338
$\hat{\beta}_3$	0,2043	0,04504	4,535	0,0000058
$\hat{\beta}_4$	0,0002823	0,00005738	4,92	0,00000087
Devians	35,771			
df	30			

Berdasarkan Tabel 5 diperoleh model untuk metode regresi Binomial Negatif $\mu = \exp(-17,11 + 0,02659X_1 + 0,000000067X_2 + 0,2043X_3 + 0,0002823X_4)$. Kemudian dilakukan uji signifikansi parameter serentak dan parsial. Pada pengujian serentak, nilai devians ditunjukkan oleh Tabel 5 diperoleh sebesar 35,771. Apabila menggunakan taraf signifikansi sebesar 5% maka diperoleh nilai $\chi^2_{(0,05;4)} = 9,488$, sehingga keputusan adalah tolak H_0 karena nilai $35,771 > 9,488$. Hasil tersebut dapat diartikan terdapat minimal satu peubah prediktor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap peubah respon.

Pada pengujian parsial dengan nilai $Z_{(0,05/2)} = 1,96$ diperoleh keputusan untuk tolak H_0 apabila nilai $|Z_{hitung}| > 1,96$. Tabel 5 menunjukkan bahwa X_1 , X_3 , dan X_4 memiliki nilai $|Z_{hitung}|$ lebih besar dari nilai 1,96 sedangkan variabel X_2 memiliki nilai lebih kecil dari 1,96. Berdasarkan keputusan tersebut disimpulkan bahwa persentase rumah tangga yang memiliki sumber air minum layak (X_1), rasio jenis kelamin (X_3), dan jumlah penduduk usia produktif (X_4) berpengaruh signifikan terhadap jumlah kasus TB di Jawa Tengah, sedangkan jumlah tenaga kesehatan (X_2)

tidak berpengaruh signifikan secara parsial terhadap jumlah kasus TB di Jawa Tengah. Selanjutnya, hasil dari kedua pemodelan dilakukan perhitungan rasio nilai devians dengan derajat bebasnya untuk membandingkan nilai dispersi.

Tabel 6. Perbandingan Nilai Parameter Dispersi

Model	Nilai Devians	Derajat Bebas	Nilai Devians/Derajat Bebas (ϕ)
Regresi Poisson	5288,8	30	176,29
Regresi Binomial Negatif	35,771	30	1,192

Tabel 6 menunjukkan perolehan hasil rasio model regresi Binomial Negatif sebesar 1,192. Nilai tersebut bernilai mendekati 1 dan jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan rasio untuk regresi Poisson yang bernilai 176,29. Hal ini menunjukkan, overdispersi yang terjadi pada regresi Poisson dapat diatasi dengan regresi Binomial Negatif.

3.6 Pengujian Asumsi Spasial

Pada tahap ini terdapat dua pengujian, yakni dependensi spasial dan heterogenitas spasial. Dependensi spasial dengan statistik *Moran's I* diperoleh nilai sebesar 4,147 dan $p\text{-value} = 3,369719e - 05$. Maka dengan nilai $Z_{(0,05/2)} = 1,96$ diputuskan untuk tolak H_0 karena nilai statistik *Moran's I* = 4,147 > 1,96 dan $p\text{-value} = 3,369719e - 05 < 0,05$. Hasil tersebut berarti bahwa terdapat dependensi spasial atau terdapat ketergantungan satu wilayah dengan wilayah lainnya.

Selanjutnya, dilakukan pengujian heterogenitas spasial dengan pengujian *Breusch Pagan*. Berdasarkan hasil pengujian nilai *Breusch Pagan* yang diperoleh adalah 10,876 dan $p\text{-value} = 0,028$. Apabila menggunakan taraf signifikansi sebesar 5% didapatkan nilai $\chi^2_{(0,05;4)} = 9,488$. Maka, dilakukan tolak H_0 karena nilai *Breusch Pagan* = 10,876 > 9,488 dan $p\text{-value} = 0,028 < 0,05$. Hasil tersebut, berarti terdapat heterogenitas spasial atau terdapat perbedaan karakteristik satu wilayah dengan wilayah lainnya.

3.7 Pemodelan *Geographically Weighted Negative Binomial Regression*

Geographically Weighted Negative Binomial Regression (GWNBR) merupakan pengembangan dari regresi Binomial Negatif dengan pembobot spasial. Selanjutnya, menentukan *bandwith* optimum dan pembobot matriks dengan menggunakan nilai *Cross Validation* (CV) terkecil. Adapun nilai CV untuk setiap fungsi kernel sebagai berikut:

Tabel 7. Perbandingan Nilai CV untuk Masing – masing Fungsi Kernel

Fungsi Kernel	Adaptive Bi-Square	Adaptive Gaussian	Fixed Bi-Square	Fixed Gaussian
Nilai CV	4594020	5921919	4755177	4427790

Berdasarkan Tabel 7 diperoleh bahwa fungsi *Fixed Gaussian* merupakan fungsi kernel dengan nilai CV terkecil, sehingga fungsi kernel tersebut akan digunakan sebagai pembobot terbaik untuk memodelkan jumlah kasus TB di Jawa Tengah menggunakan pendekatan GWNBR dengan nilai CV sebesar 4427790. Terdapat tiga pengujian hipotesis dalam model GWNBR, yakni pengujian kesesuaian model, signifikansi parameter model secara serentak dan parsial.

Uji kesesuaian model dilakukan untuk membandingkan model regresi Binomial Negatif dengan model GWNBR. Adapun hipotesis sebagai berikut,

$H_0 : \beta_j(u_1, v_1) = \beta_j(u_2, v_2) = \dots = \beta_j(u_n, v_n) = \beta_j$ (Model regresi Binomial Negatif dan model GWNBR identik)

$H_1 : \text{Minimal terdapat satu } \beta_j(u_i, v_i) \neq \beta_j$ (Model regresi Binomial Negatif dan model GWNBR tidak identik)

Berdasarkan hasil pengujian kesesuaian model diperoleh nilai F_{hitung} sebesar 193,817. menggunakan taraf signifikansi sebesar 5% maka diperoleh nilai $F_{(0,05,29,29)} = 1,86811$, sehingga keputusan adalah tolak H_0 karena nilai $F_{hitung} > F_{(\alpha,df_1,df_2)}$ atau $193,817 > 1,86811$. Penolakan H_0 mendukung H_1 yang menjelaskan bahwa kedua model tersebut tidak identik karena model GWNBR memperhitungkan fungsi pembobot spasial atau jarak antar wilayah. Oleh karena itu, parameter yang dihasilkan pada model GWNBR bersifat lokal dan tidak konstan antar wilayah. Sebaliknya, jika H_0 diterima maka kedua model dianggap identik karena asumsi spasial tidak signifikan. Hal ini menyebabkan parameter yang dihasilkan konstan dan bersifat global, sehingga pengaruh peubah prediktor terhadap peubah respon menjadi seragam di seluruh wilayah, tanpa menghitung parameter lokal berdasarkan fungsi pembobot.

Kemudian, nilai devians hasil pengujian serentak diperoleh sebesar 1227386 dengan nilai $\chi^2_{(0,05;4)} = 9,488$, keputusan untuk uji serentak adalah tolak H_0 karena nilai $1227386 > 9,488$. Hasil tersebut dapat diartikan terdapat minimal satu peubah prediktor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap peubah respon sedangkan pengujian parsial dengan nilai $Z_{(0,05/2)} = 1,96$ diputuskan untuk tolak H_0 apabila nilai $Z_{hit} > Z_{(0,05/2)}$. Hasil tersebut dapat diartikan bahwa

variabel tersebut berpengaruh secara signifikan. Selanjutnya, parameter signifikan yang dihasilkan untuk setiap kabupaten dan kota di Jawa Tengah dapat dilihat pada Tabel 8 berikut,

Tabel 8. Daftar variabel prediktor yang signifikan di setiap wilayah pengamatan

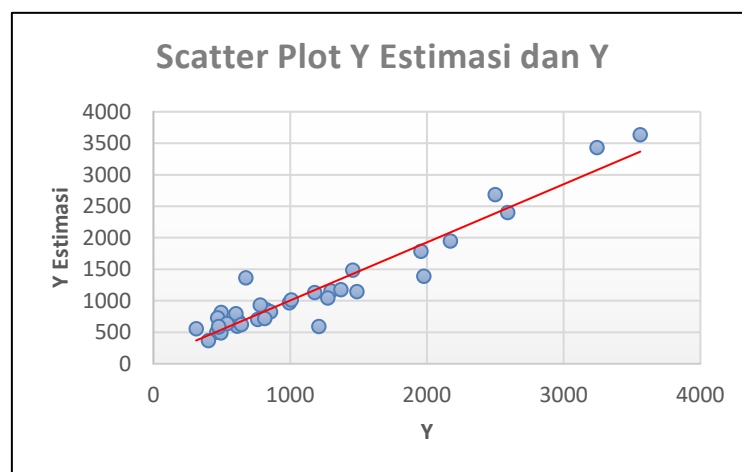
Kabupaten dan Kota	Variabel Prediktor yang Signifikan
Kab. Cilacap, Banyumas, Purbalingga, Banjarnegara, Kebumen, Purworejo, Wonosobo, Magelang, Boyolali, Klaten, Sukoharjo, Wonogiri, Karanganyar, Sragen, Grobogan, Blora, Rembang, Pati, Kudus, Jepara, Demak, Semarang, Temanggung, Kendal, Batang, Pekalongan, Pemalang, Tegal, Brebes, Kota Magelang, Surakarta, Salatiga, Semarang, Pekalongan, dan Tegal	X_1, X_2, X_3, X_4

Setelah melakukan pengujian hipotesis parameter model GWNBR akan dilakukan perhitungan nilai *Akaike Information Criterion* (AIC) untuk setiap model. Perhitungan ini bertujuan untuk memilih kriteria model terbaik dengan membandingkan nilai AIC terkecil. Adapun hasil perbandingan nilai AIC setiap model sebagai berikut,

Tabel 9. Perbandingan Nilai AIC untuk Masing–masing Model

Model	Regresi Poisson	Regresi Binomial Negatif	GWNBR
Nilai AIC	5602,8	522,87	370,14

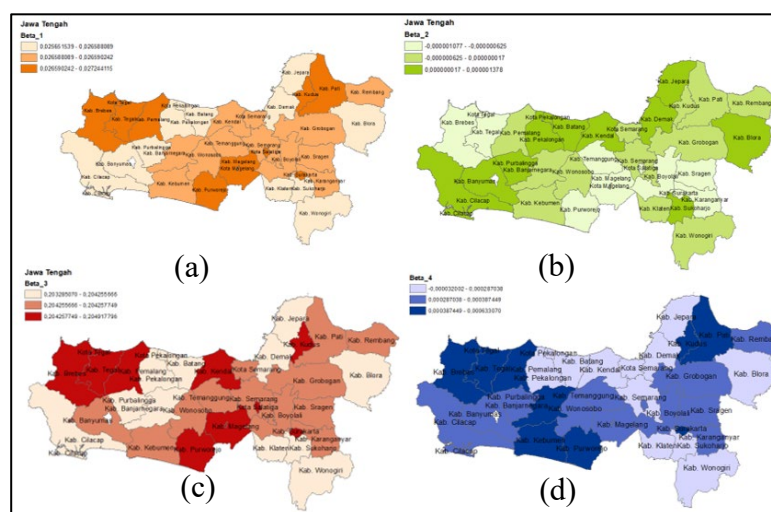
Berdasarkan hasil Tabel 9 diperoleh nilai AIC terkecil pada model GWNBR, yakni sebesar 370,14. Selanjutnya akan dibuat plot untuk melihat kesesuaian antara nilai estimasi jumlah kasus TB di Jawa Tengah dengan nilai sebenarnya.



Gambar 1. Scatter Plot Y estimasi dengan Y sebenarnya

Berdasarkan Gambar 1 terlihat titik–titik pada plot membentuk pola linier atau garis lurus dengan gradien 1 atau kemiringan 45 derajat. Contoh interpretasi titik dan garis tersebut adalah bahwa ketika Y sebenarnya bernilai 1000, nilai Y estimasi sekitar 1000 juga. Hal tersebut menunjukkan bahwa metode GWNBR telah tepat dalam memprediksi jumlah kasus TB di Jawa Tengah, yang didukung juga dengan nilai AIC terkecil. Kemudian, sebagai contoh interpretasi parameter model, dipilih Kabupaten Banyumas dengan model yang diperoleh adalah $\hat{\mu} = \exp(-17,11365603 + 0,026588089X_1 + 0,0000002659X_2 + 0,204255728X_3 + 0,00031374X_4)$. Model tersebut menunjukkan bahwa kenaikan rasio jenis kelamin (X_3) dan peningkatan jumlah penduduk usia produktif (X_4) akan meningkatkan jumlah kasus TB di setiap kabupaten dan kota Jawa Tengah, sedangkan 77,14% dari 35 kabupaten dan kota di Jawa Tengah untuk variabel jumlah tenaga Kesehatan (X_2) akan menekan jumlah kasus TB di Jawa Tengah. Adapun persentase rumah tangga dengan sumber air minum layak (X_1) memiliki interpretasi yang berlawanan dengan keadaan sebenarnya.

3.8 Deskripsi Besaran Pengaruh Variabel Prediktor



Gambar 2. Peta Sebaran Nilai Estimasi (a) $\hat{\beta}_1$; (b) $\hat{\beta}_2$; (c) $\hat{\beta}_3$; (d) $\hat{\beta}_4$ Kabupaten dan kota di Jawa Tengah

Berdasarkan Gambar 2 terlihat bahwa terdapat kecenderungan regionalisasi pada variabel persentase rumah tangga dengan akses sumber air minum layak ($\hat{\beta}_1$) yang berada pada rentang $0,026588089 \leq \hat{\beta}_1 \leq 0,026590242$ dan pada variabel rasio jenis kelamin atau perbandingan jumlah penduduk laki – laki dengan 100 penduduk perempuan ($\hat{\beta}_3$) yang berada pada rentang $0,204255666 \leq \hat{\beta}_3 \leq 0,204255749$. Sedangkan, variabel jumlah tenaga kesehatan ($\hat{\beta}_2$) dan variabel jumlah penduduk usia produktif ($\hat{\beta}_4$) memiliki kecenderungan regionalisasi yang menyebar di seluruh Provinsi Jawa Tengah.

4 Simpulan

Kabupaten/kota dengan jumlah kasus Tuberkulosis (TB) tertinggi di Provinsi Jawa Tengah adalah Kabupaten Banyumas, yakni sebanyak 3560 sedangkan kabupaten/kota terendah adalah Kabupaten Karanganyar, yakni sebanyak 312. Pada pemodelan jumlah kasus TB di Provinsi Jawa Tengah digunakan metode GWNBR dengan fungsi pembobot *Fixed Gaussian* Berdasarkan pengujian kesesuaian model diperoleh metode GWNBR lebih baik dalam memodelkan jika dibandingkan dengan regresi global. Hal ini diperkuat oleh nilai AIC terkecil, yakni sebesar 370,14. Metode tersebut merupakan metode terbaik apabila dilakukan perbandingan dengan metode regresi Poisson dan regresi Binomial Negatif maka overdispersi telah teratasi. Kemudian, hasil dari pemodelan GWNBR menunjukkan bahwa faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah kasus TB di Provinsi Jawa Tengah adalah persentase rumah tangga yang memiliki sumber air minum layak (X_1), jumlah tenaga Kesehatan (X_2), rasio jenis kelamin (X_3), dan jumlah penduduk usia produktif (X_4) dengan besar pengaruh setiap kabupaten dan kota di Jawa Tengah berbeda – beda. Adapun saran yang dapat diberikan untuk pemerintah Daerah Jawa Tengah dalam upaya menurunkan kasus TB adalah memfokuskan sesuai dengan besarnya pengaruh masing – masing variabel prediktor dan pada penelitian selanjutnya perlu ditambahkan peubah prediktor yang dapat berpengaruh terhadap jumlah kasus TB di Jawa Tengah. Selain itu, dapat digunakan fungsi pembobot yang lain untuk dilakukan perbandingan agar dapat memperoleh model terbaik.

5 Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dinas Kesehatan Jawa Tengah dan Badan Pusat Statistik (BPS) yang telah menyediakan publikasi data serta ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan, motivasi, dan dukungan dalam penelitian ini.

6 Daftar Pustaka

- [1] Kemenkes RI, *Pedoman Nasional Pelayanan Kedokteran Tata Laksana Tuberkulosis*, Jakarta: Kementerian Kesehatan RI, 2020.
- [2] WHO, *Global Tuberculosis Report 2022*, Geneva: *World Health Organization*, 2022.
- [3] Dinkes Jawa Tengah, *Profil Kesehatan Jawa Tengah Tahun 2021*, Semarang: Dinas Kesehatan Jawa Tengah, 2021.
- [4] Octavianty, T. Toni, I. G. N. M. Jaya, "Geographically weighted poisson regression semiparametric on modeling of the number of tuberculosis cases (Case study: Bandung

- city)," *STATISTICS AND ITS APPLICATIONS: Proceedings of the 2nd International Conference on Applied Statistics (ICAS II), 2016*, vol. 1827, Issue 1, pp. 020022-1–020022-6, 2017. <https://doi.org/10.1063/1.4979438>
- [5] L. Pangaribuan, Kristina, D. Perwitasari, T. Tejayanti, and D. B. Lolong, "Faktor-faktor yang Memengaruhi Kejadian Tuberkulosis Pada Umur 15 Tahun ke Atas di Indonesia (Analisis Data Survei Prevalensi Tuberkulosis (SPTB) di Indonesia 2013-2014)," *Buletin Penelitian Sistem Kesehatan*, vol. 23, no.1, pp. 20 – 25, 2020.
- [6] A. S. Fotheringham, C. Brunson and M. Charlton, *Geographically Weighted Regression*, Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2002.
- [7] D. P. Ningrum, T. Saifudin, Suliyanto and N. Chamidah, "Tuberculosis Modeling in East Java Based on Geographically Weighted Regression Approach," *Jurnal Matematika, Statistika, dan Komputasi*, vol. 19, no. 1, pp. 20 – 32, 2022.
- [8] V. M. Santi, A. N. Mutia, and Q. Meidianingsih, 2022. "Geographically Weighted Regression dalam Menganalisis Faktor-Faktor yang Memengaruhi Kasus Tuberkulosis di Sumatera Utara," *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, vol. 19, no. 2, pp. 107 – 116, 2022.
- [9] "Silva, A.R. 2016. A SAS Macro for Geographically Weighted Negative Binomial Regression," 19 Oktober 2023. [Online]. Available: <https://support.sas.com/resources/papers/proceedings16/8000-2016.pdf>.
- [10] T. Nakaya, A. S. Fotheringham, C. Brunson and M. Charlton, "Geographically Weighted Poisson Regression for Disease Association Mapping," *Statistics in Medicine*, vol. 24, pp. 2695 - 2717, 2005.
- [11] J. Hilbe, *Negative Binomial Regression 2nd edition*. Cambridge: Cambridge University Press, 2011.
- [12] A. R. Silva AND T. C. V. Rodrigues, "Geographically Weighted Negative Binomial Regression - Incorporating Overdispersion," *Statistics and Computing*, vol 24, pp. 769-783, 2014.
- [13] T. Mumtaz and A. G. Utomo, "Modelling The Number of New Pulmonary Tuberculosis Cases with Geographically Weighted Negative Binomial Regression Method," *Indonesian Journal of Statistics and Its Applications*, vol. 2, no. 2, pp. 77 – 92, 2018.
- [14] A. C. Cameron and P. K. Trivedi, *Regression Analysis of Count Data*, Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

- [15] Ridhawati, Suyitno and Wasono. "Model Geographically Weighted Poisson Regression (GWPR) dengan Fungsi Pembobot Adaptive Gaussian," *Jurnal Eksponensial*, vol. 12, no. 2, pp. 143 – 152, 2021.
- [16] S. Pardo and M. Pardo, *Statistical Methods for Field and Laboratory Studies in Behavioral Ecology*. Florida: CRC Press, 2018.
- [17] P. Mcculagh and J. A. Nelder, *Generalized Linear Models Second Edition*. London: Chapman and Hall, 1989.