

Aplikasi Metode *Geographically Weighted Negative Binomial Regression* dalam Pemodelan Tuberkulosis Paru di Provinsi Jawa Barat Tahun 2019

Hanna Anggreany Putri*, Nur Azizah Komara Rifai

Prodi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*hannaanggreany21@gmail.com, nur.azizah@unisba.ac.id

Abstract. Poisson regression analysis has a condition of equidispersion in which the variance value is equal to the mean value, the average of the Poisson is the true variance. When the variance is greater than the mean value, it is called overdispersion. An alternative that can be used is negative binomial regression. However, Poisson regression and negative binomial regression are less appropriate when applied to spatial data, or data containing geographical conditions. In this thesis, researchers suspect that the data has spatial heterogeneity and has overdispersion. The Geographically Weighted Negative Binomial Regression (GWNBR) method with Adaptive Gaussian Kernel weights is able to estimate the case. The GWNBR method will be applied to the number of pulmonary tuberculosis cases in each district/city with factors that are thought to affect it. Based on the results of the GWNBR model with Adaptive Gaussian Kernel weights, it is categorized as a very good model because it shows that the models formed are different in each district / city in West Java Province, there are 25 models formed based on significant predictor variables and 2 models formed based on insignificant predictor variables..

Keywords. *Geographically Weighted Negative Binomial Regression (GWNBR), Overdispersion, Spatial, Pulmonary Tuberculosis.*

Abstrak. Analisis regresi Poisson memiliki syarat equidispersi yang di mana nilai varians sama dengan nilai rata-ratanya, rata-rata dari Poisson itu merupakan varians yang sebenarnya. Ketika varians lebih besar dari nilai rata-rata dapat disebut dengan overdispersi. Alternatif yang dapat digunakan yaitu regresi binomial negatif. Akan tetapi regresi Poisson maupun regresi binomial negatif kurang tepat jika diterapkan pada data spasial, atau data yang mengandung kondisi geografis. Dalam skripsi ini, peneliti menduga bahwa data y memiliki heterogenitas spasial dan memiliki overdispersi. Metode *Geographically Weighted Negative Binomial Regression* (GWNBR) dengan pembobot *Adaptive Gaussian Kernel* mampu menduga kasus tersebut. Metode GWNBR akan di aplikasikan ke dalam jumlah kasus penyakit tuberkulosis paru di setiap kabupaten/kota dengan faktor-faktor yang diduga mempengaruhinya. Berdasarkan hasil model GWNBR dengan pembobot *Adaptive Gaussian Kernel* di kategorikan sebagai model yang sangat baik karena menunjukkan model yang terbentuk berbeda-beda di setiap kabupaten/kota di Provinsi Jawa Barat terdapat 25 model yang terbentuk berdasarkan peubah prediktor yang signifikan dan 2 model yang terbentuk berdasarkan peubah prediktor yang tidak signifikan.

Keywords. *Geographically Weighted Negative Binomial Regression (GWNBR), Overdispersi, Spasial, Tuberkulosis Paru.*

A. Pendahuluan

Analisis regresi menurut Hosmer dan Lemeshow [1] adalah salah satu metode yang sangat populer dalam mencari hubungan antara satu, atau lebih peubah prediktor (X) dan peubah respon (Y). Analisis regresi biasanya digunakan untuk menganalisis data dengan peubah kontinu. Namun, ada juga data yang dianalisis dengan peubah diskrit, atau *count* data. Model regresi Poisson adalah salah satu model regresi yang dapat digunakan untuk menganalisis data diskrit [2]. Model regresi Poisson memiliki syarat equidispersi yaitu nilai varians harus sama dengan rata-rata (variens yang sebenarnya), akan tetapi jika kondisi tersebut bisa saja varians yang lebih besar dibandingkan rata-rata (overdispersi) [3]. Alternatif regresi yang dapat digunakan jika terdapat overdispersi yaitu regresi binomial negatif karena regresi tersebut merupakan kombinasi dari distribusi *Poisson-Gamma*. Adanya distribusi Gamma dapat mengatasi overdispersi.

Dalam regresi Poisson maupun regresi binomial negatif kurang tepat jika diterapkan pada data spasial, atau data yang mengandung kondisi geografis [4]. *Geographically Weighted Negative Binomial Regression* (GWNBR) adalah teknik yang mampu memodelkan jumlah data dan mengatasi overdispersi dengan mempertimbangkan efek spasial di dalamnya [5]. GWNBR adalah solusi yang efektif untuk membentuk analisis regresi yang bersifat lokal untuk setiap lokasi pengamatan. Hasil analisis dari metode tersebut dapat menghasilkan nilai-nilai parameter yang berlaku hanya pada tiap lokasi pengamatan dan berbeda dengan lokasi lainnya [4].

Menurut *World Health Organization* (2014) Tuberkulosis paru (TB paru) merupakan penyakit menular yang disebabkan oleh kuman tuberkulosis (*Mycobacterium tuberculosis*). Bakteri tersebut dapat masuk ke paru-paru dan mengakibatkan pengidapnya mengalami sesak napas disertai batuk kronis. Penyakit ini masih menjadi masalah kesehatan global. Di Jawa Barat kasus tuberkulosis mengalami kenaikan dari tahun 2018 sampai dengan tahun 2019, di mana pada tahun 2019 sebesar 221 per 100.000 penduduk dari jumlah terduga tuberkulosis yang mendapatkan pelayanan sesuai standar sebesar 341,948 kasus [6]. Pada kasus TB paru, kemungkinan besar setiap daerah yang diamati tidak sama karena faktor-faktor seperti lokasi geografis, kondisi sosial dan budaya, serta faktor lain yang memengaruhi kondisi yang seharusnya diteliti. Munculnya heterogenitas spasial sangat dimungkinkan oleh perbedaan tersebut.

Ada beberapa penelitian terdahulu [7], mengenai kasus TB paru di Kota Bandung tahun 2019 yang di aplikasikan kedalam metode GWNBR. Dalam hasil penelitian beliau menyatakan bahwa dari pembobot *Adaptive Gaussian Kernel* menghasilkan 7 kelompok yang signifikan terhadap kasus TB paru di Kota Bandung tahun 2019. Penelitian lainnya [8] menggunakan metode GWNBR yang diaplikasikan pada kasus kematian setelah melahirkan. Penelitian Fauwziyah dkk menyatakan bahwa model yang terbaik untuk memodelkan kasus kematian setelah melahirkan adalah *Adaptive Gaussian Kernel*.

Berdasarkan pernyataan sebelumnya, penelitian tersebut akan dijadikan bahan referensi untuk penelitian ini, Oleh karena itu, penelitian akan mengambil judul “Aplikasi Metode *Geographically Weighted Negative Binomial Regression* dalam Pemodelan Tuberkulosis Paru di Provinsi Jawa Barat Tahun 2019” dengan menduga faktor-faktor yang mempengaruhi yaitu tenaga kesehatan, sanitasi, dan kepadatan penduduk.

B. Metodologi Penelitian

Pengujian Kecocokan Distribusi

Pengujian distribusi dilakukan untuk mengetahui apakah peubah respon (Y) mengikuti distribusi yang ditentukan atau tidak. Pengujian distribusi diuji dengan uji *Kolmogorov-Smirnov* dengan pengujian sebagai berikut [8]:

$$D = \max |F_n(X_i) - F(X_i)|$$

Model Regresi Poisson

Agresti [9] menyatakan bahwa regresi Poisson dapat digunakan untuk memodelkan data diskrit yang di mana merupakan banyaknya kejadian yang terjadi pada waktu atau tempat tertentu. Berikut model regresi Poisson:

$$\hat{\mu}_i = \exp(\beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik})$$

Overdispersi

Dalam asumsi regresi poisson memiliki asumsi nilai varians harus sama dengan rata-ratanya (nilai varians sebenarnya) yang disebut equidispersi. Tetapi, pada kenyataannya bisa saja varians lebih besar dari nilai varians sebenarnya, kasus tersebut dinyatakan sebagai overdispersi. Untuk menguji parameter dispersi digunakan uji Taron dengan Persamaan berikut [10]:

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \{(Y_i - \hat{\mu}_i)^2 - Y_i\}$$

Heteogenitas Spasial

Model regresi global tidak dapat menjelaskan hubungan antar variabel karena karakteristik daerah bervariasi secara spasial. Heterogenitas spasial merupakan fenomena dalam model spasial akibat pengaruh perbedaan karakteristik wilayah dan letak geografis antar pengamatan. Jadi pengujian asumsi heterogenitas spasial digunakan untuk mengetahui adanya hubungan antar wilayah yang menunjukkan ada tidaknya perbedaan karakteristik antara satu wilayah dengan wilayah lainnya. Uji *Breusch-Pagan* umumnya digunakan untuk mendeteksi heterogenitas spasial [11]:

$$BP = \left(\frac{1}{2}\right) f'Z(Z'Z)^{-1}Z'f$$

Geographically Weighted Negative Binomial Regression (GWNBR)

Model GWNBR pertama kali di perkenalkan oleh Silva dan Rodrigues [5] dalam penelitiannya menyatakan bahwa metode GWNBR baik digunakan untuk memodelkan data cacah, khususnya ketika data tersebut tidak stasioner dan overdispersi. Model GWNBR adalah suatu model hasil pengembangan *Geographically Weighted Regression (GWR)* yang berdistribusi binomial negatif yang dapat mengkomodir heterogenitas spasial pada data *count* yang mengalami overdispersi. Oleh karena itu model GWNBR dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$y_i \sim NB\left[\exp\left(\sum_{k=0}^k \beta_k(u_i, v_i) x_{ik}\right), \theta(u_i, v_i)\right]$$

di mana $i = 1, 2, 3, \dots, n$

$\beta_0(u_i, v_i)$: *intercept* pada lokasi ke- i

$\beta_j(u_i, v_i)$: parameter peubah penjelas ke- j pada lokasi ke- i

$\theta(u_i, v_i)$: parameter dispersi untuk setiap lokasi ke- i

u_i : koordinat garis bujur lokasi ke- i

v_i : koordinat garis lintang lokasi ke- i

y_i : nilai pengamatan respon ke- i

x_{ij} : nilai peubah penjelas ke- j pada lokasi ke- i

k : banyaknya peubah prediktor

n : banyaknya lokasi pengamatan

Berikut ini fungsi kepadatan peluang pada setiap lokasi dengan memasukan $\mu_i = \exp(X_i^T \beta(u_i, v_i))$ dan $\theta_i = \theta(u_i, v_i)$, maka persamaan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$f(y_i | \beta_k(u_i, v_i) x_{ik}, \theta_i(u_i, v_i)) = \frac{\Gamma(y_i + 1/\theta_i)}{\Gamma(1/\theta_i) \Gamma(\theta_i + 1)} \left(\frac{1}{1 + \theta_i \mu_i}\right)^{1/\theta_i} \left(\frac{\theta_i \mu_i}{1 + \theta_i \mu_i}\right)^{y_i}$$

Estimasi parameter GWNBR menggunakan *Maximum Likelihood Estimation*. Langkah pertama dibentuk fungsi *likelihood* sebagai berikut:

$$L(\beta(u_i, v_i) \theta_i | y_i, x_i) =$$

$$\prod_i^n \frac{\Gamma(y_i + \theta(u_i, v_i)^{-1})}{\Gamma(\theta(u_i, v_i)^{-1}) (y_i + 1)} \left(\frac{1}{1 + \theta(u_i, v_i) \exp(X_i^T \beta(u_i, v_i))}\right)^{\frac{1}{\theta}} \left(\frac{\theta(u_i, v_i) \exp(X_i^T \beta(u_i, v_i))}{1 + \theta(u_i, v_i) \exp(X_i^T \beta(u_i, v_i))}\right)^{y_i}$$

Pada persamaan *likelihood* akan diubah dalam bentuk fungsi *log-likelihood* yang telah diberi pembobot letak geografis adalah sebagai berikut:

$$\ln L(\beta(u_i, v_i) \theta_i | y_i, x_i) = \sum_{i=1}^n w_{ij}(u_i, v_i) \left[(\ln(r + \theta(u_i, v_i)^{-1}) - \ln(y_i + 1) + y_i \ln(\theta_i \mu_i) - \left(\frac{1}{\theta_i} + y_i\right) \ln(1 + \theta_i \mu_i)) \right]$$

Selanjutnya fungsi *log-likelihood* diturunkan terhadap masing-masing parameter (β, θ)

untuk masing-masing parameter yang akan ditaksir yaitu

$$\frac{\partial \ln L(\beta(u_i, v_i), \theta_i | y_i, x_i)}{\partial \beta} = \mathbf{0}$$

$$\frac{\partial \ln L(\beta(u_i, v_i), \theta_i | y_i, x_i)(\beta, \theta; y_i)}{\partial \theta} = \mathbf{0}$$

Metode penaksiran parameter dalam GLM salah satunya yaitu metode iterasi *Newton Raphson*. Metode tersebut digunakan untuk memperoleh solusi dari fungsi *log-likelihood* yang nantinya menghasilkan nilai yang cukup konvergen sebagai estimasi untuk tiap parameter. Hasil turunan parsial dari fungsi *log-likelihood* terhadap parameter β dan θ diperoleh melalui iterasi numerik.

Matriks Pembobot Spasial

Dalam proses penaksiran parameter model GWNBR di suatu titik memerlukan pembobot. Nilai pembobot bergantung pada jarak antar titik lokasi pengamatan. Pembobot berupa matriks diagonal di mana elemen-elemen diagonalnya merupakan fungsi pembobot dari setiap titik lokasi pengamatan [12]. Fungsi kernel adaptif memiliki *bandwidth* yang berbeda untuk setiap titik lokasi pengamatan i . Pemilihan *bandwidth* optimum sangat penting karena berpengaruh pada ketepatan model. Besar kecilnya *bandwidth* berpengaruh pada varians dan bias dari model. Metode pemilihan *bandwidth* dapat dilakukan dengan *Cross Validation* (CV) dengan Persamaan sebagai berikut:

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

Keterangan:

- $\hat{y}_{\neq i}(b)$: nilai penaksir y_i di mana pengamatan lokasi (u_i, v_i) yang tidak disertakan dalam proses penaksiran
- y_i : pengamatan daerah ke- i
- b : *bandwidth*
- n : banyaknya pengamatan
- i : $1, 2, \dots, n$

Dengan fungsi *Adaptive Gaussian Kernel* yang digunakan:

$$w_{ij} = \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{d_{ij}}{b_i} \right)^2 \right]$$

Keterangan

- d_{ij} : jarak Euclidean antara lokasi pengamatan i dengan lokasi pengamatan j
- b_i : *bandwidth* ke- i

Sedangkan jarak *Euclidean* antara observasi i dan observasi j disajikan pada Persamaan berikut:

$$d_{ij} = \sqrt{(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2}$$

Keterangan

- u_i : latitude coordinates area ke- i
- u_j : latitude coordinates area ke- j
- v_i : longitude coordinates area ke- i
- v_j : longitude coordinates area ke- j

Pengujian Signifikan Parameter Model Geographically Weighted Negative Binomial Regression (GWNBR)

Pengujian signifikan parameter secara simultan dapat dilakukan dengan menggunakan hipotesis sebagai berikut [11]:

$$H_0 : \beta_1(u_i, v_i) = \beta_2(u_i, v_i) = \dots = \beta_k(u_i, v_i) = 0$$

$$H_1 : \text{paling sedikit salah satu } \beta_j(u_i, v_i) \neq 0 \quad ; j = 1, 2, \dots, k$$

Statistik uji:

$$D(\hat{\beta}) = -2 \ln \left(\frac{L(\hat{\omega})}{L(\hat{\Omega})} \right) = 2(\ln L(\hat{\Omega}) - \ln L(\hat{\omega}))$$

Kriteria uji tolak H_0 jika statistik uji $D(\hat{\beta}) > \chi^2_{(\alpha, j)}$, dengan j adalah banyaknya parameter peubah prediktor dalam model yang diestimasi. Artinya paling sedikit terdapat satu peubah prediktor dalam model yang berpengaruh terhadap peubah respon.

Pengujian signifikansi secara parsial dilakukan untuk mengetahui parameter mana saja yang signifikan terhadap peubah respon pada tiap-tiap lokasi dengan hipotesis sebagai berikut:

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

$$H_1 : \beta_j(u_i, v_i) \neq 0 \quad ; j = 1, 2, \dots, k$$

Statistik uji:

$$Z_{hit} = \frac{\hat{\beta}_j(u_i, v_i)}{se(\hat{\beta}_j(u_i, v_i))}$$

Kriteria uji H_0 ditolak jika $|Z_{hit}| \geq Z_{(\alpha/2)}$. Tolak H_0 artinya bahwa parameter tersebut berpengaruh signifikan terhadap peubah respon di tiap lokasi [5].

Uji Kelayakan Model

Uji kelayakan model dapat diketahui melalui nilai *Pseudo R²*. *Pseudo R²* pada intinya mengukur seberapa jauh kemampuan model dalam menerangkan variasi peubah dependen yang dijelaskan oleh peubah prediktor. Berikut rumus *McFadden*:

$$R^2_{MF} = 1 - \frac{\ln L(\hat{\Omega})}{\ln L(\hat{\omega})}$$

Untuk definisi tentang *Pseudo R²*, *McFadden* [13] telah merekomendasikan bahwa nilai dari 0,2 hingga 0,4 menunjukkan *R²* mewakili kecocokan model yang sangat baik.

Tuberkulosis Paru (TB Paru)

Tuberkulosis paru yang sering dikenal dengan TB disebabkan bakteri *Mycobacterium tuberculosis* (*M. tuberculosis*) dan termasuk penyakit menular. Kasus tuberkulosis pada tahun 2019 yang dilaporkan sebanyak 109,463 kasus dari jumlah terduga tuberkulosis sebanyak 341,948 kasus.

Data yang akan digunakan yaitu data jumlah kasus penyakit TB paru pada setiap kabupaten/kota di Provinsi Jawa Barat tahun 2019 berasal dari BPS dan Dinas Kesehatan. Berikut peubah yang akan digunakan dalam penelitian:

Tabel 1. Peubah yang digunakan dalam penelitian

Peubah	Keterangan	Tipe Peubah	Unit Penelitian
Y	Kejadian TB paru	Diskrit	Jumlah kasus penyakit TB paru per kabupaten/kota di Provinsi Jawa Barat Tahun 2019
X ₁	Tenaga kesehatan	Diskrit	Jumlah tenaga kesehatan masyarakat (unit)
X ₂	Sanitasi	Kontinu	Presentase rumah tangga yang memiliki akses sanitasi layak (%)
X ₃	Kepadatan penduduk	Diskrit	Jumlah kepadatan penduduk (jiwa/km ²)
u _i	Garis lintang (°)	Kontinu	<i>Longitude</i> kabupaten/kota ke-i
v _i	Garis bujur (°)		<i>Latitude</i> kabupaten/kota ke-i

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pengujian Kesesuaian Distribusi

Berdasarkan uji kesesuaian distribusi dengan *Kolmogorov-Smirnov* menunjukkan bahwa data tidak berdistribusi Poisson tetapi data mengikuti distribusi negatif binomial. Dikarenakan data y berdistribusi binomial negatif maka data tersebut dapat digunakan pada metode GWNBR.

Pemodelan Regresi Poisson

Didapatkan model regresi Poisson sebagai berikut:

$$\hat{\mu}_i = 9,3087 - 0,4540X_1 - 0,1269X_2 - 0,0082X_3$$

Diketahui bahwa nilai antara devians dengan derajat bebas dari regresi Poisson sebesar 2809,6 yang di mana nilai tersebut lebih dari 1.

Pengujian Overdispersi

Pengujian overdispersi dilakukan dengan uji *Taron* menghasilkan nilai $T = 13,6391$. Kesimpulan bahwa lebih besar dari $\chi^2_{(0,05,1)} = 3,8415$ yang dapat ditarik kesimpulan bahwa terdapat *overdispersi* pada data TB paru di Provinsi Jawa Barat tahun 2019.

Heterogenitas Spasial

Pada pengujian heterogenitas spasial dengan *Breuch-Pagan* diperoleh nilai sebesar $BP = 8,9289$. Kesimpulan bahwa lebih besar dari $\chi^2_{(0,05;4)} = 7,8147$ yang dapat diartikan bahwa varians antar lokasi berbeda.

Geographically Weighted Negative Binomial Regression (GWNBR)

Estimasi Parameter GWNBR

Setelah diperoleh matriks pembobot spasial, selanjutnya dapat dilakukan analisis GWNBR dan diperoleh estimasi parameter untuk setiap kecamatan. Dalam pemodelan untuk setiap kecamatan dilakukan dengan memasukan keseluruhan peubah tanpa mempertimbangkan signifikansi dari masing-masing peubahnya. Berikut dapat diketahui jangkuan taksiran setiap parameter yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 2. Statistik Taksiran Parameter Model GWNBR

<i>i</i>	Koefisien Parameter			
	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$
1	0.00040	0.00181	0.01571	0.00003
2	0.00047	0.00192	0.01702	0.00001
3	0.00038	0.00249	0.01534	0.00000
4	0.00032	0.00344	0.01381	0.00000
5	0.00034	0.00520	0.01357	0.00002
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Berdasarkan Tabel 2, selanjutnya akan menginterpretasikan koefisien parameter. Berdasarkan model yang diperoleh untuk interpretasi diambil contoh pada Kabupaten Bogor diketahui bahwa nilai β_0 sebesar 0,00040 yang artinya bahwa peubah X_1 sampai X_3 bernilai 0 maka kasus TB paru di Kabupaten Bogor adalah sebesar 0,00040.

Kemudian koefisien regresi β_1 sebesar 0,00181 bernilai positif yang menyatakan bahwa setiap terjadi peningkatan jumlah tenaga kesehatan masyarakat (X_1) maka akan meningkatkan kasus TB paru di Kabupaten Bogor sebesar 0,00181.

Kemudian koefisien regresi β_2 sebesar 0,00181 bernilai positif yang menyatakan bahwa setiap terjadinya peningkatan presentase rumah tangga yang memiliki akses terhadap sanitasi layak (X_2) maka akan meingkatkan kasus TB paru di Kabupaten Bogor sebesar 0,00181.

Kemudian koefisien regresi β_3 sebesar 0,00003 bernilai positif yang menyatakan bahwa setiap terjadinya peningkatan jumlah kepadatan penduduk (X_3) maka akan bertambahnya kasus TB paru di Kabupaten Bogor sebesar 0,00036.

Pengujian GWNBR

Pengujian signifikansi GWNBR secara simultan bertujuan untuk mengetahui apakah secara

bersama-sama peubah prediktor memberikan pengaruh terhadap model. Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut.

$H_0 : \beta_1(u_i, v_i) = \beta_2(u_i, v_i) = \beta_3(u_i, v_i)0$, (semua peubah prediktor dalam model tidak berpengaruh terhadap jumlah kasus penyakit TB paru)

$H_1 : \beta_j(u_i, v_i) \neq 0 ; (j = 1,2,3)$, (paling sedikit terdapat satu peubah prediktor dalam model yang berpengaruh terhadap jumlah kasus penyakit TB paru)

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai devians $D(\hat{\beta})$ model GWNBR sebesar 102405,4 dengan taraf nyata 5% didapatkan nilai $\chi^2_{(0,05;3)}$ sebesar 7,8147, dapat diketahui bahwa nilai $D(\hat{\beta}) > \chi^2_{(0,05;3)}$ maka tolak H_0 yang artinya bahwa paling sedikit terdapat satu peubah prediktor atau parameter model GWNBR yang signifikan berpengaruh terhadap jumlah kasus penyakit TB paru.

Pengujian parameter secara parsial dilakukan untuk mengetahui apakah peubah prediktor berpengaruh terhadap peubah respon secara individual yang dihasilkan dengan hipotesis sebagai berikut.

$H_0 : \beta_j(u_i, v_i) = 0 ; (j = 1,2, \dots, 27)$, (peubah prediktor ke- j tidak berpengaruh terhadap jumlah kasus TB paru)

$H_0 : \beta_j(u_i, v_i) \neq 0 ; (j = 1,2, \dots, 27)$, (peubah prediktor ke- j berpengaruh terhadap jumlah kasus TB paru)

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan parameter yang signifikan berbeda-beda untuk tiap kabupaten/kota di Provinsi Jawa Barat. Nilai $|Z|$ parameter setiap kabupaten/kota dibandingkan dengan nilai $Z_{(0,05/2)}$ yaitu sebesar 1,96. Jika nilai $|Z| > Z_{(0,05/2)}$ maka tolak H_0 yang artinya parameter signifikan terhadap model. Hasil estimasi parameter ($\hat{\beta}$), statistik uji $|Z|$, nilai $p - value$ dan nilai *standard error* (*se*). Berikut hasil pengujian parameter model GWNBR secara parsial.

Tabel 3 Model Signifikan terhadap Jumlah Kasus Penyakit TB Paru Setiap Kecamatan

i	Estimasi, se dan Statistik Uji	Parameter			
		$\beta_0(u_0, v_0)$	$\beta_1(u_i, v_i)$	$\beta_2(u_i, v_i)$	$\beta_3(u_i, v_i)$
1	Estimasi	0,00040	0,00181	0,01571	0,00003
	se	0,000008	0,000103	0,000344	0,000003
	Z	47,62265	17,67936	45,66791	-9,47762
	p - value	0.0000*	0.0000*	0.6048	0.1426
2	Estimasi	0,00047	0,00192	0,01702	0,00001
	se	0,000007	0,000119	0,000284	0,000002
	Z	63.08836	16.06665	59.96628	-4.33985
	p - value	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.0000*
3	Estimasi	0,00038	0,00249	0,01534	0,00000
	se	0,000005	0,000102	0,000209	0,000001
	Z	79.64837	24.43289	73.22069	-2.87632
	p - value	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.0040*
⋮					
25	Estimasi	0,00034	0,00296	0,01433	0,00000
	se	0,000007	0,000252	0,000365	0,000002
	Z	45.68037	11.75844	39.25419	0.15066
	p - value	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.8802
26	Estimasi	0,00036	0,00522	0,01417	0,00001
	se	0,000006	0,000266	0,000342	0,000003
	Z	62.92463	19.66023	43.77174	-3.99366
	p - value	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.0001*
27	Estimasi	0,62351	-0,00001	-0,00004	0,00000
	se	0,031488	0,000427	0,000758	0,000005
	Z	19.80179	-0.02518	-0.05019	-0.00413

<i>i</i>	Estimasi, <i>se</i> dan Statistik Uji	Parameter			
		$\beta_0(u_0, v_0)$	$\beta_1(u_i, v_i)$	$\beta_2(u_i, v_i)$	$\beta_3(u_i, v_i)$
	<i>p</i> – value	0.0000*	0.9799	0.9600	0.9967

*Signifikan pada taraf 5%

Sebagai contoh akan disajikan pengujian parameter pada lokasi penelitian yang ke-2 (u_2, v_2) yaitu Kabupaten Sukabumi.

Tabel 4 Pengujian Parameter Model GWNBR di Kabupaten Sukabumi

Parameter	Estimasi	Std.Error	Z	<i>p</i> – value	Keterangan
β_0	0,00047	0,000007	63,08836	0,0000*	Signifikan
β_1	0,00192	0,000119	16,06665	0,0000*	Signifikan
β_2	0,01702	0,000284	59,96628	0,0000*	Signifikan
β_3	0,00001	0,000002	-4,33985	0,0000*	Signifikan

*Signifikan pada taraf 5%

Dari Tabel 4 diatas menyatakan bahwa peubah prediktor yang signifikan di Kabupaten Sukabumi adalah X_1, X_2, X_3 . Sehingga model GWNBR yang dapat dibentuk adalah sebagai berikut:

$$\hat{\mu}(u_2, v_2) = \exp(0,00047 + 0,00192X_1 + 0,01702X_2 + 0,00001X_3)$$

Berdasarkan dari peubah yang signifikan dari model yang terbentuk di Kabupaten Sukabumi dapat disimpulkan bahwa setiap pertambahan 1 unit faktor tenaga kesehatan masyarakat (X_1), maka akan bertambahnya rata-rata jumlah kasus TB paru sebesar $\exp(0,00192) = 1,001918 \approx 1$ unit dari sebelumnya dengan asumsi peubah lain konstan. Kondisi pada hasil penelitian ini berbanding terbalik atau tidak sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa jika bertambahnya tenaga kesehatan masyarakat, maka akan meningkatkan kasus penyakit TB paru. Ketidaksesuaian interpretasi ini dimungkinkan karena penyebab lain, misalnya dikarenakan bertambahnya tenaga kesehatan memungkinkan untuk menerima pasien TB paru lebih banyak, dikarenakan lebih banyak tenaga kesehatan pada Kabupaten tersebut maka akan lebih memadai juga semakin cepat proses penyembuhan penyakit TB paru pada Kabupaten Sukabumi.

Selanjutnya, setiap pertambahan 1% presentase rumah tangga yang memiliki akses sanitasi layak (X_2), maka akan bertambahnya rata-rata jumlah kasus TB paru sebesar $\exp(0,01702) = 1,017165 \approx 1$ kasus dari sebelumnya dengan asumsi peubah lain konstan. Kondisi pada hasil penelitian ini berbanding terbalik atau tidak sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa jika bertambahnya akses sanitasi, maka akan meningkatkan kasus penyakit TB paru. Ketidaksesuaian interpretasi ini dimungkinkan karena penyebab lain, misalnya pada suatu rumah tangga dengan rumah tangga lainnya belum adanya pemeriksaan tentang keadaan fasilitas sanitasi yakni, seperti keadaan pembuangan sampah yang layak, WC, keadaan wilayah sekitar perumahan yang berbeda membuat sanitasi itu kurang memadai. Oleh sebab itu, pentingnya mencari tau informasi yang merata dari sumber ahli pada tiap Kabupaten Sukabumi kepada masyarakat terkait akses sanitasi untuk mengurangi risiko terkenanya kasus TB paru.

Selanjutnya, setiap pertambahan 1 jiwa/km² kepadatan penduduk (X_3), maka akan bertambahnya rata-rata jumlah kasus TB paru sebesar $\exp(0 - 0,00001) = 1,00008 \approx 1$ kasus dari sebelumnya dengan asumsi peubah lain konstan. Hal ini sesuai karena dengan bertambahnya jumlah kepadatan penduduk (X_3) per satuan unit wilayah maka akan meningkatkan kasus penyakit TB paru di Kabupaten Sukabumi.

Berdasarkan contoh model pada Tabel 4, maka model keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 5 berdasarkan hasil peubah prediktor yang signifikan terhadap peubah respon. Berikut model sebagai berikut:

Tabel 5 Model yang Terbentuk di Setiap Kabupaten/Kota

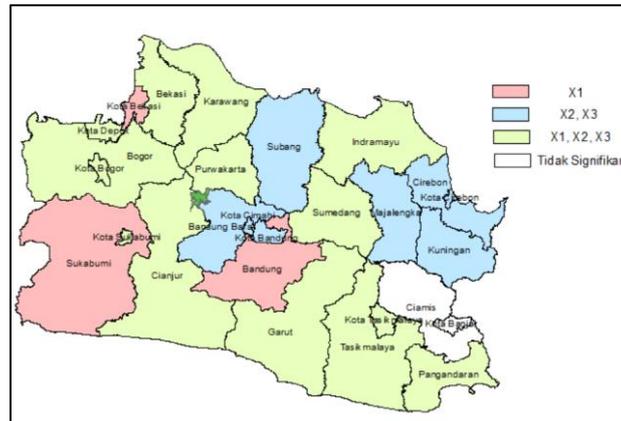
No	Kabupaten/Kota	Model GWNBR
1	Bogor	$\hat{\mu}(u_1, v_1) = \exp(0,00040 - 00,00181X_1 + 0,01571X_2 + 0,00003)$
2	Sukabumi	$\hat{\mu}(u_2, v_2) = \exp(0,00047 + 0,00192X_1)$
3	Cianjur	$\hat{\mu}(u_3, v_3) = \exp(0,00038 + 0,00249X_1 + 0,01534X_2 + 0,00000X_3)$
4	Bandung	$\hat{\mu}(u_4, v_4) = \exp(0,00032 + 0,00344X_1)$
5	Garut	$\hat{\mu}(u_5, v_5) = \exp(0,00034 - 0,00520X_1 + 0,01357X_2 + 0,00002X_3)$
6	Tasikmalaya	$\hat{\mu}(u_6, v_6) = \exp(0,00042 - 0,00516X_1 - 0,01539X_2 + 0,00001)$
7	Ciamis	$\hat{\mu}(u_7, v_7) = \exp(0,62390)$
8	Kuningan	$\hat{\mu}(u_8, v_8) = \exp(0,00030 + 0,00291X_1 + 0,01331X_2)$
9	Cirebon	$\hat{\mu}(u_9, v_9) = \exp(0,00033 - 0,00124X_1 + 0,01442X_2)$
10	Majalengka	$\hat{\mu}(u_{10}, v_{10}) = \exp(0,00029 + 0,00331X_1 + 0,01314X_2)$
∴	∴	∴
21	Kota Bandung	$\hat{\mu}(u_{21}, v_{21}) = \exp(0,00033 + 0,00294X_1 + 0,01415X_2)$
22	Kota Cirebon	$\hat{\mu}(u_{22}, v_{22}) = \exp(0,00030 + 0,0081X_1 + 0,01368X_2)$
23	Kota Bekasi	$\hat{\mu}(u_{23}, v_{23}) = \exp(0,00037 + 0,00191X_1 + 0,01515X_2 + 0,00003X_3)$
24	Kota Depok	$\hat{\mu}(u_{24}, v_{24}) = \exp(0,00036 + 0,00192X_1 + 0,01484X_2 + 0,00002X_3)$
25	Kota Cimahi	$\hat{\mu}(u_{25}, v_{25}) = \exp(0,00034 + 0,00296X_1 + 0,01433X_2)$
26	Kota Tasikmalaya	$\hat{\mu}(u_{26}, v_{26}) = \exp(0,00036 + 0,00522X_1 + 0,01417X_2 + -0,00001)$
27	Kota Banjar	$\hat{\mu}(u_{27}, v_{27}) = \exp(0,62351)$

Berikut peta pengelompokan lokasi kabupaten/kota yang ada di Provinsi Jawa Barat berdasarkan peubah yang signifikan disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6 Pengelompokan Peubah yang Signifikan di Masing-masing Kabupaten/Kota di Provinsi Jawa barat

No.	Kabupaten/Kota	Peubah yang Signifikan
1	Kab. Bandung, Kota Bekasi, Kab. Sukabumi	1. X_1 (Tenaga kesehatan)
2	Kab. Kuningan, Kab. Cirebon, Kab. Majalengka, Kab. Subang, Kab. Bandung Barat, Kota Bandung, Kota Cirebon, Kota Cimahi	2. X_2 (Sanitasi layak) 3. X_3 (Kepadatan penduduk)
3	Kab. Bogor, Kab. Cianjur, Kab. Garut, Kab. Tasikmalaya, Kab. Sumedang, Kab. Indramayu, Kab. Purwakarta, Kab. Karawang, Kab. Bekasi, Kab. Pangandaran, Kota Bogor, Kota Sukabumi, Kota Depok, Kota Tasik	1. X_1 (Tenaga kesehatan) 2. X_2 (Sanitasi layak) 3. X_3 (Kepadatan penduduk)
4	Kab. Ciamis, Kota Banjar	Tidak signifikan

Berikut adalah peta pengelompokan lokasi kabupaten/kota yang ada di Provinsi Jawa Barat berdasarkan peubah yang signifikan terhadap kasus kejadian TB paru tahun 2019.



Gambar 1 Gambar Peta Pengelompokan Peubah Prediktor yang Signifikan Terhadap Peubah Respon

Berdasarkan Gambar 1 menyatakan bahwa warna merah muda menandakan peubah tenaga kesehatan signifikan terhadap kasus TB paru. Sedangkan biru menandakan peubah tenaga kesehatan, sanitasi layak, dan kepadatan penduduk signifikan terhadap kasus TB paru. Selanjutnya warna hijau terang menandakan bahwa peubah peubah sanitasi dan kepadatan penduduk signifikan terhadap kasus TB paru. Sedangkan yang tidak berwarna menandakan bahwa lokasi tidak signifikan

Pengujian Kelayakan Model

Berdasarkan hasil *pseudo R*² = 0,4 maka dapat dikategorikan model GWNBR sebagai model yang sangat baik.

D. Kesimpulan

Dari hasil model yang terbentuk pada kasus tuberkulosis paru di Provinsi Jawa Barat berdasarkan model GWNBR dengan pembobot *Adaptive Gaussian Kernel* di kategorikan sebagai model yang sangat baik karena menghasilkan model yang berbeda pada setiap kabupaten/kota di Provinsi Jawa Barat tahun 2019.

Berdasarkan pemodelan GWNBR dengan menggunakan pembobot *Adaptive Gaussian Kernel* menunjukan bahwa faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kasus penyakit tuberkulosis paru di setiap kabupaten/kota di Provinsi Jawa Barat tahun 2019 sebanyak 25 model berdasarkan faktor yang signifikan mempengaruhi kasus penyakit TB paru sedangkan 2 model berdasarkan faktor yang tidak signifikan terhadap kasus penyakit tuberkulosis paru di setiap kabupaten/kota Provinsi Jawa Barat tahun 2019.

Acknowledge

Penelitian terima kasih kepada Yang Maha Kuasa Allah SWT, kedua orang tua, keluarga dan teman yang selalu mendoakan dan memberi semangat, Ibu Nur Azizah Komara Rifai, S.Si., M.Si., yang telah memberikan pengetahuan, ilmu, serta motivasi, para dosen Penguji dan dosen Statistika Unisba yang telah memberikan ilmu pengetahuannya, dan teman-teman yang telah memberikan kritikan, bantuan, dan dorongannya.

Daftar Pustaka

- [1] Anisa, L., & Komara Rifai, N. (2022, Desember). Analisis Regresi Logistik Biner dengan Metode PMLE pada Penyakit Covid-19. *Jurnal Riset Statistika (JRS)*, Vol. 2, No. 2, 129-136. doi:<https://doi.org/10.29313/jrs.v2i2.1425>
- [2] Badriyah, L. (2019). *Estimasi Parameter Model Regresi Poisson Diperumum dengan Metode Maksimum Likelihood*. Matematika. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malin Ibrahim
- [3] McCullagh, P., & Nelder, J. (1989). *Generalized Linear Models* (2nd ed.). London: New

- York: Chaoman And Hall.
- [4] Ramadhan, R., & Kurniawan, R. (2016). Pemodelan Data Kematian Bayi dengan GWNBR. *Media Statistika*, Vol. 9(2), 96.
 - [5] Silva, A. R., & Rodrigues, T. C. (2013, April 24). Geographically Weighted Negative Binomial Regression - incorporating overdispersion. *Stat Comput.* doi:10.1007/s11222-013-9401-9
 - [6] Dinas Kesehatan. (2019). *Profil Kesehatan Jawa Barat Tahun 2019*. Bandung: Dinas Kesehatan Provinsi Jawa Barat.
 - [7] Zaina, A. S. (2021). Pemodelan dan Pemetaan Penyakit TB Paru di Kota Bandung Menggunakan GWNBR. *Prosiding Statistika*.
 - [8] Fauwziyah, F., Astutik, S., & Pramoedyo, H. (2022, September 29). Geographically Weighted Negative Binomial Regression Modelling using Adaptive Kernel on the Number of Maternal Deaths during Childbirth. *Mathematics and Statistics*, 1133-1139. doi:10.13189/ms.2022.100525
 - [9] Agresti, A. (2002). *An Introduction To Categorical Data Analysis* (2nd ed.). A John Wiley & Sons, INC., Publication.
 - [10] Dean, C., Lawless, J., & Willmot, G. (1989). A mixed Poisson-inverse-Gaussian regression model. *The Canadian Journal of Statistics*, Vol. 17, No. 2, 171-181. doi:https://doi.org/10.2307/3314846
 - [11] Rachelia, R., Mindra Jaya, I., & Hendrawati, T. (2022, Februari). Pemodelan Kasus Covid-19 di Kabupaten Ciamis Menggunakan Metode Geographically Weighted Negative Binomial Regression (GWNBR). *Jurnal Statistika Teori dan Aplikasi*, Vol. 16(1), 17-30
 - [12] Wulandari, T. (2019). Pemodelan dan Pemetaan Angka Kasus TB Paru pada Anak di Kabupaten Indramayu dengan Pendekatan GWNBR. *Prosiding Statistika*
 - [13] McFadden, D. (1978). *Behavioural Travel Modelling*. London: Groom Helm London