Research Review
Jurnal Ilmiah Multidisiplin
Vol. 4, No. 1, Februari 2025 ISSN: 29622743

Model *Geographically Wighted Bivariate Generalized Poisson Regression* dengan *Adaptive Gaussian Kernel* (Studi Kasus: Jumlah Kematian Ibu dan Neonatal di Indonesia)

(Geographically Weighted Bivariate Generalized Poisson regression Model with Adaptive Gaussian Kernel (Case Study: Number of Maternal and Neonatal Mortality in Indonesia)

Frista Delia[1], Djihad Wungguli[2]
[1,2]Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo
fristadelia26@gmail.com[1], djihad@ung.ac.id[2]

Article Info

Article history:

Received: 16 Januari 2025
Revised: 11 Februari 2025
Accepted: 12 Februari 2025

Keywords:

Maternal Mortality Rat
Neonatal Mortality Rate
Geographically Weighted Bivariate Generalized Poisson

Kata Kunci:
Angka Kematian Ibu
Angka Kematian Neonatal
Geographically Weighted Bivariate Generalized Poisson

Abstract

Maternal Mortality Rate (MMR) and Neonatal Mortality Rate (NMR) are important indicators in determining the level of public health in a region. Both MMR and NMR in Indonesia have decreased, but the reduction has not been significant, and the rates remind high, requiring accelerated efforts to meet the target by the end of 2024. Maternal and neonatal mortality are interrelated, at the nutrition that the baby receives during pregnancy comes from the mother's body, meaning the mother's health status significantly influences the health of the newborn. This study aims to identify the factors influencing maternal and neonatal mortality in Indonesia with Geographically Weighted Bivariate Generalized Poisson Regression (GWBGPR) method, using Adaptive Gaussian Kernel weighting. The results results indicate that the independent variables that have a significant effect on the number of maternal and neonatal deaths at each location are the percentage of health services for pregnant women in K4 (X1) and the percentage of deliveries by health workers (X2).

Abstrak

Angka Kematian Ibu (AKI) dan Angka Kematian Neonatal (AKN) merupakan salah satu intikator penting dalam menentukan tingkat kesehatan masyarakat dalam suatu wilayah. AKI dan AKN di Indonesia sudah mengalami penurunan namun belum signifikan dan angkanya masih tinggi, sehingga memerlukan upaya percepatan untuk mencapai target diakhir tahun 2024. Kematian ibu dan neonatal merupakan dua hal yang saling berkaitan, hal ini dikarenakan gizi yang diperoleh bayi semasa dalam kandungan diperoleh dari tubuh ibu sehingga kondisi ibu akan berpengaruh pada kondisi bayi yang akan dilahirkan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap jumlah kematian ibu dan neonatal di Indonesia dengan metode Geographically Weighted Bivariate Generalized Poisson Regression (GWBGPR) dengan menggunakan pembobot Adaptive Gaussian Kernel. Hasil penelitian menyatakan bahwa variabel independen yang berpengaruh signifikan

terhadap jumlah kematian ibu dan neonatal di setiap lokasi adalah presentase pelayanan kesehatan ibu hamil K4 (X1) dan presentase persalinan oleh tenaga kesehatan (X2).

Corresponding Author:

Frista Delia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Gorontalo
fristadelia26@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Bivariate Poisson Regression adalah regresi yang digunakan untuk memodelkan sepasang data count yang memiliki nilai korelasi tinggi yang menunjukkan adanya hubungan kuat antar variabel dependen (Karlis & Ntzoufras, 2005). *Bivariate Poisson Regression* memiliki salah satu asumsi spesifik, yaitu kesamaan nilai antara mean dan varians pada variabel dependen (ekuidispersi). Namun, pelanggaran asumsi sering terjadi dimana nilai varians lebih besar dari nilai mean (overdispersi) atau nilai varians lebih kecil dari nilai mean (underdispersi). Pelanggaran ini dapat ditangani dengan *Bivariate Generalized Poisson Regression* (BGPR) (Consul & Famoye, 1992). BGPR merupakan metode yang dapat digunakan pada sepasang data count yang memiliki korelasi baik korelasi positif maupun korelasi negatif yang terindikasi overdispersi atau underdispersi (Zamani et al., 2016). Residual model BGPR harus bersifat non heterogenitas spasial, artinya varians residual antar lokasi pada model harus konstan/homogen (Setiawan, 2017). Namun, setiap lokasi memiliki perbedaan karakteristik yang dipengaruhi oleh faktor geografis, kebudayaan dan lainnya. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya heterogenitas spasial. Heterogenitas spasial pada model BGPR dapat ditangani dengan GWBGPR (*Geographically Weighted Bivariate Generalized Poisson Regression*).

GWBGPR memperhatikan letak longitude dan latitude dari titik lokasi pengamatan (Setiawan, 2017). Letak longitude dan latitude akan digunakan untuk memperhitungkan jarak titik koordinat antar lokasi dengan menggunakan jarak euclidean (Tizona et al., 2017). Pembentukan pembobot jarak *euclidean* dapat dilakukan menggunakan fungsi kernel *Adaptive* dengan pemilihan bandwith optimum menggunakan *Generalized Cross Validation* (GCV) (Nakaya et al., 2005). Penaksiran parameter GWBGPR dilakukan dengan MLE (*Maximum Likelihood Rasio*) sedangkan pengujian hipotesis dengan MLRT (*Maximum Likelihood Ratio Test*) (Purhadi et al., 2021). Beberapa penelitian tentang GWBGPR telah dilakukan pada data kematian bayi dan ibu di Provinsi Jawa Timur tahun 2017 (Setiawan, 2017) dan tahun 2018 (Suryani, 2018), menggunakan fungsi pembobot *Adaptive Bisquare Kernel*. Selain *Adaptive Bisquare Kernel*, terdapat juga fungsi pembobot lain seperti *Adaptive Gaussian Kernel* (Lutfiani & Scolastika Mariani, 2019).

Salah satu data count dalam lingkungan kesehatan adalah jumlah kematian, seperti jumlah kematian ibu dan neonatal. Kematian ibu merupakan kematian perempuan selama periode kehamilan, persalinan, atau dalam waktu 42 hari pasca persalinan sedangkan kematian neonatal merupakan kematian bayi yang terjadi pada bulan pertama kelahiran (Wulandari & Utomo, 2021). Kematian ibu dan kematian neonatal saling berkaitan karena gizi yang diperoleh bayi di dalam kandungan berasal dari tubuh ibu, sehingga kondisi kesehatan ibu selama hamil akan mempengaruhi kondisi bayi yang lahir. Tren Angka Kematian Ibu (AKI) dan Angka Kematian Neonatal (AKN) di indonesia tahun 2022 sudah mengalami penurunan namun masih lambat dan angkanya masih tinggi yaitu 189/100.000 KH dan 15/1.000 KH, sehingga masih memerlukan upaya percepatan dan upaya untuk mempertahankan agar target 183/100.000 KH untuk AKI 7/1.000 KH untuk AKN dapat tercapai di akhir tahun 2024 (Kementerian kesehatan Indonesia, 2023).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, faktor yang signifikan mempengaruhi kematian ibu dan neonatal adalah pelayanan K4 ibu hamil (Ikhsani et al., 2023). Pada penelitian (Winata, 2023) diketahui bahwa persalinan yang ditangani tenaga kesehatan mempengaruhi kematian ibu. Pada penelitian Husada dan (Husada & Yuniasih, 2022) diketahui bahwa cakupan kunjungan K4 berpengaruh terhadap kematian neonatal. Pada penelitian (Irwan et al., 2021) diketahui pula bahwa persalinan oleh tenaga kesehatan mempengaruhi kematian neonatal. Selain itu, pada penelitian (Aulele et al., 2021) diketahui bahwa cakupan frekuensi pelayanan K4 bagi ibu hamil berpengaruh terhadap kematian ibu.

Penelitian ini akan menerapan metode GWBGPR dengan fungsi pembobot *Adaptive Gaussian Kernel* pada kasus jumlah kematian ibu dan neonatal di Indonesia, karena data yang digunakan memuat dua variabel dependen berkorelasi berupa data count yang mengikuti distribusi bivariat poisson serta diduga

terindikasi overdispersi atau underdispersi, dan heterogenitas spasial. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mengidentifikasi faktor-faktor yang signifikan berpengaruh terhadap jumlah kematian ibu dan neonatal di Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Profil Kesehatan Indonesia tahun 2022 dan publikasi resmi Badan Pusat Statistik (BPS). Populasi penelitian mencakup 34 provinsi di Indonesia, dengan teknik pengambilan sampel sampling jenuh, yaitu seluruh populasi digunakan sebagai sampel penelitian. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari jumlah kematian ibu, jumlah kematian neonatal, persentase pelayanan kesehatan ibu hamil K4, dan persentase persalinan oleh tenaga kesehatan. Analisis data dilakukan menggunakan RStudio untuk pemodelan statistik dan QGIS untuk pemetaan spasial guna menggambarkan distribusi pola kematian ibu dan neonatal secara geografis.

2.1 Pengumpulan Data

Data dalam penelitian ini diperoleh dari Profil Kesehatan Indonesia tahun 2022 yang diterbitkan oleh Kementerian Kesehatan Republik Indonesia dan data statistik dari Badan Pusat Statistik (BPS). Pengumpulan data dilakukan dengan mengakses publikasi resmi yang menyediakan informasi terkait angka kematian ibu dan neonatal serta faktor-faktor yang mempengaruhinya. Data yang dikumpulkan mencakup variabel respon, yaitu jumlah kematian ibu dan jumlah kematian neonatal, serta variabel prediktor, yaitu persentase pelayanan kesehatan ibu hamil K4 dan persentase persalinan oleh tenaga kesehatan di setiap provinsi.

2.2 Analisis Data

Analisis data dimulai dengan pengujian statistik awal, yang mencakup uji korelasi untuk menilai hubungan antara jumlah kematian ibu dan neonatal, serta uji multikolinearitas menggunakan Variance Inflation Factor (VIF) untuk memastikan tidak ada hubungan linier tinggi antara variabel prediktor. Selanjutnya, dilakukan uji distribusi Poisson untuk menguji karakteristik data dan mengidentifikasi kemungkinan overdispersi atau underdispersi pada variabel respon. Jika ditemukan indikasi overdispersi, maka model yang digunakan adalah Bayesian Generalized Poisson Regression (BGPR).

Setelah pemodelan BGPR dilakukan, tahap selanjutnya adalah pengujian heterogenitas spasial untuk mengevaluasi apakah hubungan antara variabel respon dan prediktor bervariasi antarwilayah. Jika hasil pengujian menunjukkan adanya heterogenitas spasial, maka model yang digunakan adalah Geographically Weighted Bayesian Generalized Poisson Regression (GWBGPR). Model ini diterapkan dengan menghitung jarak Euclidean antarprovinsi dan menggunakan pembobotan Adaptive Gaussian Kernel untuk menentukan pengaruh spasial dari setiap wilayah.

2.3 Visualisasi dan Interpretasi

Hasil pemodelan dibandingkan antara BGPR dan GWBGPR dengan melihat nilai Akaike Information Criterion (AIC) dan deviance untuk memilih model terbaik. Model yang memiliki nilai AIC lebih rendah dan deviance lebih kecil dianggap sebagai model yang lebih baik dalam menggambarkan pola data. Hasil akhir divisualisasikan menggunakan QGIS, yang memungkinkan analisis spasial terhadap pola distribusi kematian ibu dan neonatal di Indonesia berdasarkan hasil pemodelan terbaik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Korelasi

Pengujian korelasi variabel respon dilakukan untuk mengetahui apakah variabel respon $(Y_1$ dan $Y_2)$ memiliki hubungan atau keterkaitan menggunakan korelasi *pearson's product moment.* Tolak H_0 jika $|t_{hit}| > t_{\alpha/2(n-2)}$.

Berdasarkan hasil analisis diperoleh nilai $|t_{hit}| = 26.833 > t_{0.025;(32)} = 2{,}032$. Maka dapat disimpulkan bahwa H_0 ditolak, artinya terdapat hubungan yang signifikan antara jumlah kematian ibu dan nonatal di Indonesia tahun 2022.

3.2 Uji Multikolinearitas

Pengujian multikolinearitas dilihat melalui nilai *Variance Inflation Factor* (VIF) pada masing-masing variabel prediktor. Tolak H_0 jika nilai VIF > 10. Hasil pengujian multikolinearitas ditunjukan oleh tabl berikut.

Tabel 1. Uji multikolinearitas

Variabel	VIF
X_1, X_2	5,1934

Berdasarkan hasil yang diperoleh untuk setiap variabel prediktor memiliki nilai VIF < 10. Maka dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi gejala multikolinearitas pada variabel prediktor yang digunakan.

3.3 Uji Distribusi Bivariat poisson

Pengujian distribusi bivariat poisson dilakukan untuk mengetahui apakah variabel respon $(Y_1$ dan $Y_2)$ mengikuti distribusi bivariat poisson, menggunakan *index of dispersion test* (I_B) yang didefinisikan sebagai berikut (Best, 1999).

$$I_B = \frac{n\left(\overline{Y}_2 S_{Y_1}^2 - 2m_{11}^2 + \overline{Y}_1 S_{Y_2}^2\right)}{\overline{Y}_1 \overline{Y}_2 - m_{11}^2}$$

dengan,

n : jumlah lokasi pengamatan

$\overline{Y}_1$: nilai rata-rata Y_1

$\overline{Y}_2$: nilai rata-rata Y_2

$$S_{Y_1}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_{1i} - \overline{Y}_1)}{n}$$

$$S_{Y_2}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_{2i} - \overline{Y}_2)}{n}$$

$$m_{11} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_{1i} - \overline{Y}_1)(Y_{2i} - \overline{Y}_2)}{n}$$

Tolak H_0 jika $|I_B| > \chi^2_{(\alpha;2n-3)}$.

Berdasarkan hasil analisis diperoleh nilai $I_B = 67{,}715 < \chi^2_{(0{,}05;65)} = 84{,}821$. Maka dapat disimpulkan bahwa gagal tolak H_0, artinya variabel respon mengikuti distribusi bivariat poisson.

3.4 Pemeriksaan Overdispersi/Underdispersi

Pemeriksaan over/undersdispersi variabel respon $(Y_1$ dan $Y_2)$ dilakukan menggunakan nilai mean dan varians. Ekuidispersi jikan mean = varians, ovrdispersi jika mean < varians, dan underdispersi jika mean > varians. Hasil pemeriksaan over/ underdispersi dtunjukan oleh table berikut.

Tabel 2. Pemeriksaan over/undersdispersi

Variabel	Mean	Varians
Y_1	105,06	16012,603
Y_2	537,7	429604,589

Berdasarkan hasil yang diperoleh masing-masing variable respon memiliki nilai mean > nilai varians. Maka dapat disimpulkan bahwa variabel respon yang digunakan mengalami overdispersi.

3.5 Pemodelan BGPR

Hasil penaksiran parameter BGPR disajikan pada tabel berikut.

Tabel 3. Penaksiran parameter BGPR

Parameter	Estimasi	SE	Z	P-value
$\beta_{1.0}$	0,2016	0,0212	9,5154	0,0000
$\beta_{1.1}$	0,0084	0,0004	19,5323	0,0000

$\beta_{1.2}$	0,0435	0,0005	91,0635	0,0000
$\beta_{2.0}$	1,5047	0,0096	156,594	0,0000
$\beta_{2.1}$	0,0076	0,0002	39,5459	0,0000
$\beta_{2.2}$	0,0482	0,0002	226,126	0,0000
λ_0	1,4399	0,0015	969,621	0,0000
α_0	0,0028	0,000004	534,664	0,0000
α_1	102,881	0,1547	709,877	0,0000
α_2	532,487	0,2613	2037,39	0,0000

Berdasarkan Tabel 3 diperoleh model BGPR jumlah kematian ibu dan neonatal di Indonesia tahun 2022 sebagai berikut.

a) Jumlah kematian ibu

$$\hat{\lambda}_1 = exp(0,2016 + 0,0084X_1 + 0,0435X_2)$$

b) Jumlah kematian neonatal

$$\hat{\lambda}_2 = exp(1,5047 + 0,0076X_1 + 0,0482X_2)$$

3.6 Uji Heterogenitas Spasial

Pengujian heterogenitas spasial dilakukan untuk mengetahui apakah varians residual dari model BGPR heterogen antar lokasi pengamatan, menggunakan formula *glejser* yang didefinisikan sebagai berikut (Johnson & Wichern, 2007).

$$G = -\left[n - 1 - \frac{1}{2}(p+g)\right]\ln\left(\frac{|\hat{\Sigma}_\Omega|}{|\hat{\Sigma}_\omega|}\right) \sim \chi^2_{(\alpha;p(g-1))}$$

dengan,

n : jumlah lokasi pengamatan

p : jumlah variabel prediktor

g : jumlah variabel respon

Σ_ω : matriks varian kovarian dibawah H_0

Σ_Ω : matriks varian kovarian dibawah populasi

Tolak H_0 jika $|G| > \chi^2_{\alpha;p(g-1)}$.

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh nilai $|G| = |-203,122| > \chi^2_{(0,05;2)} = 5,591$. Maka dapat disimpulkan bahwa H_0 ditolak, artinya kasus jumlah kematian ibu dan neonatal memiliki keragaman spasial antar wilayah.

3.7 Pemodelan GWBGPR

Pada pemodelan GWBGPR dilakukan perhitungan jarak euclidean antar lokasi pengamatan, serta perhitungan pembobot adaptive gaussian kernel untuk memperoleh matriks pembobot yang digunakan untuk mengestimasi model.

Hasil penaksiran parameter GWBGPR disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4. GWBGPR

No.	Provinsi	Nilai Taksiran Y_1			Nilai Taksiran Y_2		
		β_0	β_1	β_2	β_0	β_1	β_2
1.	Aceh	0,2689	0,0093	0,0419	1,5697	0,0085	0,0465
2.	Sumatera Utara	0,2690	0,0078	0,0434	1,5697	0,0069	0,0481

3.	Sumatera Barat	0,2391	0,0072	0,0443	1,5461	0,0063	0,0490
4.	Riau	0,2690	0,0081	0,0430	1,5425	0,0063	0,0490
5.	Jambi	0,2646	0,0078	0,0433	1,5736	0,0069	0,0479
…	…	…	…	…	…	…	…
30.	Sulawesi Barat	0,2689	0,0107	0,0407	1,4679	0,0085	0,0476
31.	Maluku	0,2690	0,0073	0,0434	1,5697	0,0063	0,0482
32.	Maluku Utara	0,2700	0,0131	0,0637	1,5709	0,0157	0,0701
33.	Papua Barat	0,2690	0,0073	0,0434	1,5697	0,0064	0,0482
34.	Papua	0,2689	0,0077	0,0423	1,5653	0,0237	0,0348

Berdasarkan Tabel 4 diperoleh model GWBGPR jumlah kematian ibu dan neonatal berdasarkan lokasi pengamatan. Sebagai contoh disajikan model pada lokasi pengamatan ke-30 yaitu Provinsi Sulawesi Barat sebagai berikut.

a) Jumlah kematian ibu

$$\hat{\lambda}_1 = exp(0,2689 + 0,0106X_1 + 0,0407X_2)$$

b) Jumlah kematian neonatal

$$\hat{\lambda}_2 = exp(1,4679 + 0,0086X_1 + 0,0476X_2)$$

3.8 Uji Hipotesis Model GWBGPR

a) Uji Simultan

Pengujian signifikansi parameter model secara serentak dilakukan untuk mengetahui apakah secara bersama-sama variabel prediktor berpengaruh terhadap model. Hasil pengujian simultan disajikan pada tabel berikut.

Tabel 5. Uji simultan

No.	Provinsi	Devians
1.	Aceh	1633,542
2.	Sumatera Utara	1792,8
3.	Sumatera Barat	2294,09
4.	Riau	2594,828
5.	Jambi	2899,394
…	…	
30.	Sulawesi Barat	3756,776
31.	Maluku	338,506
32.	Maluku Utara	1028,89
33.	Papua Barat	422,452
34.	Papua	122,454

Berdasarkan hasil yang diperoleh, semua nilai $D(\hat{\theta}) > \chi^2_{(0,05;4)} = 9,488$. Maka dapat disimpulkan bahwa H_0 ditolak, artinya pada tiap lokasi pengamatan seluruh parameter secara bersama-sama berpengaruh terhadap model.

a) Uji Parsial

Uji parsial dilakukan untuk mengetahui parameter mana saja yang memberikan pengaruh secara signifikan terhadap model. Hasil uji parsial disajikan pada tabel berikut.

Tabel 6. Uji parsial

No.	Provinsi	Y_1		Y_2	
		β_1	β_2	β_1	β_2

1.	Aceh	0,0621	0,2908	0,1279	0,7243
2.	Sumatera Utara	0,7718	3,7117	1,5364	9,1382
3.	Sumatera Barat	0,6607	3,1375	1,2868	7,8031
4.	Riau	0,9405	3,8434	1,6403	9,8208
5.	Jambi	1,4393	6,6555	2,8762	16,6592
…	…	…	…	…	…
30.	Sulawesi Barat	2,4671	6,0225	4,4543	15,7074
31.	Maluku	0,1543	0,2587	0,3008	0,6379
32.	Maluku Utara	-0,0420	0,1870	-0,1107	0,4531
33.	Papua Barat	0,4855	3,7085	0,9041	8,7250
34.	Papua	0,0019	0,0149	0,0132	0,0265

Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat dilihat bahwa terdapat nilai $|Z| < Z_{0,025} = 1,96$. Maka dapat disimpulkan bahwa terdapat beberapa variabel yang gagal tolak H_0. Oleh karena itu, terbentuk 2 kelompok Provinsi berdasarkan kesamaan variable prediktor yang signifikan pada jumlah kematian ibu dan neonatal yang disajikan pada tabel berikut.

Tabel 7. Pengelompokkan Provinsi berdasarkan variabel yang signifikan terhadap jumlah kematian ibu

No.	Provinsi	Variabel Prediktor yang Signifikan
1.	Sumatera Utara, Sumatera Barat, Riau, Jambi, Sumatera Selatan, Bengkulu, Lampung, Bali, Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, Gorontalo, Papua Barat	X_2
2.	DKI Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, DI Yogyakarta, Jawa Timur, Banten, Sulawesi Selatan, Sulawesi Barat	X_1, X_2

Tabel 8. Pengelompokkan Provinsi berdasarkan variabel yang signifikan terhadap jumlah kematian neonatal

No.	Provinsi	Variabel Prediktor yang Signifikan
1.	Sumatera Utara, Sumatera Barat, Riau, Kep. Bangka Belitung, Bali, Kalimantan Tengah, Kalimantan Timur, Sulawesi Utara, Sulawesi Tenggara, Gorontalo, Papua Barat	X_2
2.	Jambi, Sumatera Selatan, Bengkulu, Lampung, DKI Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, DI Yogyakarta, Jawa Timur, Banten, Kalimantan Selatan, Kalimantan Utara, Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan, Sulawesi Barat	X_1, X_2

Sebagai contoh akan disajikan pengujian parameter secara parsial pada lokasi pengamatan ke-30 yaitu Provinsi Sulawesi Barat pada tabel berikut.

Tabel 9. Penaksiran parameter GWBGPR *gaussian* Provinsi Sulawesi Barat

Parameter	Estimasi	SE	Z	P-value
$\beta_{1.0}$	0,2689	0,2878	0,9345	0,3500
$\beta_{1.1}$	0,0106	0,0043	2,4672	0,0136
$\beta_{1.2}$	0,0407	0,0068	6,0225	0,0000
$\beta_{2.0}$	1,4679	0,1289	11,3807	0,0000
$\beta_{2.1}$	0,0086	0,0019	4,4543	0,0000
$\beta_{2.2}$	0,0476	0,0030	15,7074	0,0000

λ_0	1,4669	0,0079	185,4474	0,0000
α_0	0,0054	0,00007	76,8397	0,0000
α_1	102,8809	0,0125	101,6077	0,0000
α_1	532,4871	1,4111	377,345	0,0000

Berdasarkan Tabel 9 maka dapat disimpulkan bahwa terdapat 2 variabel prediktor yang berpengaruh signifikan terhadap jumlah kematian ibu dan neonatal di Provinsi Sulawesi Barat.

Model GWBGPR untuk Provinsi Sulawesi Barat dapat dituliskan sebagai berikut.

a) Jumlah Kematian Ibu

$$\hat{\lambda}_1 = exp(0,2689 + 0,0106X_1 + 0,0407X_2)$$

Dari model diatas dapat diinterpretasikan bahwa setiap penambahan 1% pelayanan kesehatan ibu hamil K4 maka akan meningkatkan rata-rata jumlah kematian ibu sebanyak $\exp(0,0106) = 1,0106$ kali dengan asumsi variabel lain konstan, dan setiap penambahan 1% persalinan oleh tenaga kesehatan maka akan meningkatkan rata-rata jumlah kematian ibu sebanyak $\exp(0,0407) = 1,0415$ kali dengan asumsi variabel lain konstan.

b) Jumlah Kematian Neonatal

$$\hat{\lambda}_2 = exp(1,4679 + 0,0086X_1 + 0,0476X_2)$$

Dari model diatas dapat disimpulkan bahwa setiap penambahan 1% pelayanan kesehatan ibu hamil K4 maka akan meningkatkan rata-rata jumlah kematian neonatal sebanyak $\exp(0,0086) = 1,0086$ kali dengan asumsi variabel lain konstan, dan setiap penambahan 1% persalinan oleh tenaga kesehatan maka akan meningkatkan rata-rata jumlah kematian neonatal sebanyak $\exp(0,0476) = 1,0487$ kali dengan asumsi variabel lain konstan.

Selain itu, diperoleh nilai koefisien determinasi (R_2) dari model jumlah kematian ibu adalah sebesar $12,3\%\ (0,123)$, yang berarti jumlah kematian ibu (Y_1) dapat dijelaskan oleh pelayanan kesehatan ibu hamil k4 (X_1) dan persalinan oleh tenaga kesehatan (X_2) sebesar $12,3\%$ dan sisanya dijelaskan oleh faktor lain yang tidak diteliti. Sedangkan nilai R_2 dari model jumlah kematian neonatal adalah sebesar $13,4\%\ (0,134)$, yang berarti jumlah kematian neonatal (Y_2) dapat dijelaskan oleh pelayanan kesehatan ibu hamil k4 (X_1) dan persalinan oleh tenaga kesehatan (X_2) sebesar $13,4\%$ dan sisanya dijelaskan oleh faktor lain yang tidak diteliti. Misalnya, pada penelitian (Ikhsani et al., 2023) peserta KB aktif, penanganan komplikasi kebidanan, dan penanganan komplikasi neonatal.

4. KESIMPULAN DAN SARAN/REKOMENDASI

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan antara jumlah kematian ibu dan neonatal di Indonesia tahun 2022. Pemodelan kasus jumlah kematian ibu dan neonatal di Indonesia menggunakan metode GWBGPR dengan fungsi *Adaptive Gaussian Kernel* menghasilkan model yang berbeda pada setiap lokasi pengamatan, sebagai contoh disajikan model pada lokasi pengamatan ke-30 yaitu provinsi Sulawesi Barat.

a) Jumlah kematian ibu

$$\hat{\lambda}_1 = exp(0,2689 + 0,0106X_1 + 0,0407X_2)$$

b) Jumlah Kematian neonatal

$$\hat{\lambda}_2 = exp(1,4679 + 0,0086X_1 + 0,0476X_2)$$

Variabel prediktor yang berpengaruh signifikan terhadap jumlah kematian ibu dan neonatal adalah presentase pelayanan kesehatan ibu hamil k4 (X_1) dan presentase persalinan oleh tenaga kesehatan (X_2).

4.2 Saran/Rekomendasi

Penelitian selanjutnya dapat menggunakan fungsi pembobot lain serta dapat menambahkan variabel independen lain yang diduga memiliki pengaruh serta periode waktu yang berbeda dalam memodelkan jumlah kematian ibu dan neonatal di Indonesia.

REFERENSI

Aulele, S. N., Heumasse, A. G., & Lesnussa, Y. A. (2021). Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Jumlah Kematian Ibu di Provinsi Maluku dengan Menggunakan Regresi Poisson. *Jurnal EurekaMatika*, *9*(2), 151–158. https://doi.org/10.17509/jem.v9i1.33244

Best, D. J. (1999). *Tests of fit and other nonparametric data analysis*. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:118045915

Consul, P. C., & Famoye, F. (1992). Generalized poisson regression model. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, *21*(1), 89–109. https://doi.org/10.1080/03610929208830766

Husada, P. Y., & Yuniasih, A. F. (2022). Analisis Spasial Angka Kematian Neonatal di Pulau Jawa Tahun 2020. *Seminar Nasional Official Statistics*, *2022*(1), 207–216. https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2022i1.1273

Ikhsani, N., Kalondeng, A., & Ilyas, N. (2023). Pemodelan Regresi Bivariate Poisson Inverse Gaussian pada Kasus Kematian Ibu dan Neonatal di Sulawesi Selatan. *Estimasi: Journal of Statistics and Its Application*, *4*(1), 2721–379. https://doi.org/10.20956/ejsa.vi.24113

Irwan, I., Alwi, W., & Nurhasanah, N. (2021). Pemodelan Jumlah Kematian Neonatal Di Provinsi Sulawesi Selatan Menggunakan Regresi Poisson Inverse Gaussian. *Teknosains: Media Informasi Sains Dan Teknologi*, *15*(2), 137. https://doi.org/10.24252/teknosains.v15i2.17450

Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2007). Applied Multivariate Statistical Analysis.: Pearson Prentice Hall. In *Pearson Prentice Hall*.

Karlis, D., & Ntzoufras, I. (2005). Bivariate Poisson and diagonal inflated bivariate Poisson regression models in R. *Journal of Statistical Software*, *14*(10). https://doi.org/10.18637/jss.v014.i10

Lutfiani, N., & Scolastika Mariani, dan. (2019). Pemodelan Geographically Weighted Regression (GWR) dengan Fungsi Pembobot Kernel Gaussian dan Bi-square. *UNNES Journal of Mathematics*, *5*(1).

Nakaya, T., Fotheringham, A. S., Brunsdon, C., & Charlton, M. (2005). Geographically weighted Poisson regression for disease association mapping. *Statistics in Medicine*, *24*(17), 2695–2717. https://doi.org/10.1002/sim.2129

Purhadi, Sutikno, Berliana, S. M., & Setiawan, D. I. (2021). Geographically weighted bivariate generalized Poisson regression: application to infant and maternal mortality data. *Letters in Spatial and Resource Sciences*, *14*(1), 79–99. https://doi.org/10.1007/s12076-021-00266-5

Setiawan, D. I. (2017). Parameter Estimation And Hypothesis Testing on Geographically Weighted Bivariate Generalized Poisson Regression (Studi Kasus: Jumlah Kematian Bayi dan Jumlah Kematian Ibu di Provinsi Jawa Timur Tahun 2013). *Institut Teknologi Sepuluh November*, *893*(1).

Suryani, L. E. (2018). *Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Jumlah Kematian Bayi Dan Ibu Di Jawa Timur Dengan Metode Geographically Weighted Bivariate Generalized Poisson Regression*.

Tizona, A. R., Goejantoro, R., & Wasono. (2017). Pemodelan Geographically Weighted Regression (Gwr) Dengan Fungsi Pembobot Adaptive Kernel Bisquare Untuk Angka Kesakitan Demam Berdarah di Kalimantan Timur Tahun 2015. *Jurnal Eksponensial*, *8*(1).

Winata, H. M. (2023). Mengatasi Overdispersi Dengan Regresi Binomial Negatif Pada Angka Kematian Ibu Di Kota Bandung. *Jurnal Gaussian*, *11*(4), 616–622. https://doi.org/10.14710/j.gauss.11.4.616-622

Wulandari, D. A., & Utomo, I. H. (2021). Responsivitas Dinas Kesehatan Kabupaten Karanganyar dalam Upaya Menurunkan Angka Kematian Ibu (AKI) dan Angka Kematian Bayi (AKB) di Kabupaten Karanganyar. *Wacana Publik*, *1*(1), 117. https://doi.org/10.20961/wp.v1i1.50895

Zamani, H., Faroughi, P., & Ismail, N. (2016). Bivariate generalized Poisson regression model: applications on health care data. *Empirical Economics*, *51*(4), 1607–1621. https://doi.org/10.1007/s00181-015-1051-7