

## STUDI PENYEBARAN KASUS PMK DI PULAU JAWA MENGUNAKAN *GEOGRAPHICALLY WEIGHTED NEGATIVE BINOMIAL REGRESSION*

Ni Made Deviani Prisilia Sunarta<sup>1§</sup>, Ni Luh Putu Suciptawati<sup>2</sup>, I Made Eka Dwipayana<sup>3</sup>, I Gusti Ayu Made Srinadi<sup>4</sup>, I Putu Eka Nila Kencana<sup>5</sup>, Ketut Jayanegara<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Prodi Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Udayana [Email: deviani.prisilia@gmail.com]

<sup>2</sup>Prodi Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Udayana [Email: suciptawati@unud.ac.id]

<sup>3</sup>Prodi Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Udayana [Email: dwipayana@unud.ac.id]

<sup>4</sup>Prodi Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Udayana [Email: srinadi@unud.ac.id]

<sup>5</sup>Prodi Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Udayana [Email: i.putu.enk@unud.ac.id]

<sup>6</sup>Prodi Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Udayana [Email: ktjayanegara@unud.ac.id]

<sup>§</sup>Corresponding Author

### ABSTRACT

*Foot and mouth disease (FMD) is a highly contagious disease that spreads rapidly and infects cloven-hoofed animals. The disease has become endemic in many countries, causing serious problems for the economy and livestock industry. Java Island has a high number of FMD cases with the number of cases showing variations caused by differences in geographical characteristics in each region and this cause spatial heterogeneity. Therefore, PMK case modeling was carried out to determine the factors that influence it using the Geographically Weighted Negative Binomial Regression (GWNBR) method where the FMD case data is count data and has overdispersion. Based on the results of the GWNBR model, there are five groups of districts/cities based on the predictor variables that have a significant effect on the spread of FMD with the dominant predictor variables that have a significant effect are livestock density, livestock population, and number of livestock conditionally slaughtered.*

**Keywords:** *Foot and mouth disease, spatial heterogeneity, overdispersion, Geographically Weighted Negative Binomial Regression*

### 1. PENDAHULUAN

Penyakit Mulut dan Kuku (PMK) merupakan penyakit endemik yang menyerang hewan berkuku belah dan menjadi ancaman serius bagi populasi ternak (Subramaniam et al., 2022). PMK memberikan pengaruh terhadap melemahnya produktivitas ternak dan ekonomi suatu negara (Dhakil et al., 2023). Banyak negara yang terpengaruh dampak PMK memilih untuk membatasi pergerakan perdagangan internasional, hal ini disebabkan virus PMK merupakan penyakit menular dengan urutan pertama diantara penyakit hewan lainnya yang dinyatakan oleh *World Organization for Animal Health* (WOAH) (Seyoum & Tora, 2023).

Sejak tahun 1986 Indonesia telah dinyatakan bebas PMK, tetapi pada Mei 2022, penyakit ini kembali muncul dengan jumlah kasus positif mencapai 615.570 kasus. Hewan yang terinfeksi paling banyak adalah jenis

ternak sapi potong sebesar 505.837 ekor yang kemudian diikuti dengan sapi perah, kerbau, kambing, domba, dan babi. Sementara itu, jumlah kasus positif di Pulau Jawa tercatat sebanyak 343.675 kasus dengan tingkat infeksi tertinggi terjadi di Kabupaten Malang dan terendah di Kota Yogyakarta serta mencapai 274.907 kasus yang terjadi pada sapi potong. Hal ini berarti 54,35% kasus positif PMK pada sapi potong berada di Pulau Jawa.

Penyebaran kasus di berbagai daerah menunjukkan variasi yang signifikan. Beberapa wilayah memiliki angka kasus yang jauh lebih tinggi dibandingkan daerah lain, yang dapat disebabkan oleh faktor seperti kebijakan pengendalian dan respon terhadap wabah atau pola distribusi dan perdagangan hewan. Selain itu, kondisi geografis dan aksesibilitas suatu daerah juga dapat memengaruhi tingkat

penyebaran virus (Pamungkas et al., 2023). Melihat adanya variasi jumlah kasus antarwilayah dapat menunjukkan bahwa penyebaran PMK tidak bersifat seragam, melainkan bervariasi bergantung pada karakteristik lokal masing-masing daerah. Hal ini mengindikasikan adanya heterogenitas spasial sehingga metode yang dapat digunakan untuk menganalisis pola penyebaran penyakit ini adalah analisis regresi spasial.

Analisis penyebaran kasus PMK di Pulau Jawa menggunakan jumlah kasus positif PMK sebagai variabel respon yang bersifat diskrit. Oleh karena itu digunakan pendekatan analisis regresi Poisson untuk memodelkan kasus penyebaran PMK. Namun, pelanggaran asumsi yaitu overdispersi atau nilai ragam lebih besar daripada nilai *mean* menjadi permasalahan yang sering terjadi pada variabel respon yang merupakan data cacah. Fenomena overdispersi jika diabaikan mengakibatkan kesalahan pada hasil uji signifikan (Cameron & Trivedi, 2013). Dengan demikian, untuk mengatasi pelanggaran tersebut dilakukan analisis regresi binomial negatif yang merupakan anggota keluarga distribusi eksponensial, tetapi pendekatan ini masih gagal dalam menangani kasus heterogenitas spasial (Hilbe, 2007). Heterogenitas spasial dapat terjadi akibat karakteristik geografis yang berbeda-beda di setiap daerah pengamatan, sehingga salah satu metode yang digunakan dalam mengatasi data cacah yang mengalami overdispersi dan terdapat heterogenitas spasial adalah *Geographically Weighted Negative Binomial Regression* (GWNBR) (Silva & Rodrigues, 2014) (Chen et al., 2020). Model GWNBR memberikan parameter yang berbeda-beda untuk setiap daerah pengamatan (Fotheringham et al., 2002).

Penelitian Chhetri et al., (2010) yang bertujuan mengukur hubungan antara faktor-faktor yang berpengaruh terhadap PMK di Nepal menyatakan bahwa salah satu faktor-faktor yang berpengaruh signifikan adalah populasi kerbau yang tinggi. Selain itu, penelitian Hayama et al., (2016) menunjukkan bahwa kepadatan ternak memberikan dampak yang signifikan dalam terjadinya epidemi yang mana semakin tinggi kepadatan maka semakin besar epidemi di daerah tersebut dan dalam menghentikan penyebaran itu perlu dilakukan tindakan pengendalian, diantaranya kebijakan pemotongan bersyarat dan vaksinasi yang terbukti efektif dalam mengendalikan kasus PMK.

Berdasarkan uraian di atas, peneliti ingin mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap penyebaran kasus PMK di Pulau Jawa dengan menggunakan GWNBR.

## 2. METODE PENELITIAN

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Dinas Pertanian Republik Indonesia 2022 dan Badan Pusat Statistika (BPS). Jumlah pengamatan adalah 119 kabupaten/kota di Pulau Jawa. Adapun variabel variabel respon ( $Y$ ) penelitian ini, yaitu jumlah kasus positif PMK per kabupaten di Pulau Jawa tahun 2022 dengan variabel penjelas yang digunakan, meliputi kepadatan ternak ( $X_1$ ), populasi ternak ( $X_2$ ), jumlah ternak yang dipotong bersyarat ( $X_3$ ), dan jumlah vaksinasi ternak ( $X_4$ ).

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam menganalisis penyebaran PMK sebagai berikut:

1. Melakukan eksplorasi data dengan:
  - a. Membuat peta tematik pola penyebaran kasus positif PMK.
  - b. Memeriksa multikolinearitas pada variabel penjelas dengan berdasarkan nilai *variance inflation factors* (VIF). Rumus nilai VIF sebagai berikut (O'Brien, 2007):
2. Menganalisis model regresi Poisson meliputi langkah-langkah sebagai berikut:
  - a. Menduga parameter model regresi Poisson (Berk & MacDonald, 2008).

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

- a. Menduga parameter model regresi Poisson (Berk & MacDonald, 2008).
- $$\mu_i = \exp(\beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_p X_{pi}) \quad (2)$$
- b. Melakukan pemeriksaan overdispersi. Suatu data dikatakan mengalami overdispersi jika hasil bagi nilai devians dengan derajat bebasnya lebih besar dari 1 (Hilbe, 2007) sehingga dapat dilanjutkan ke tahapan selanjutnya.
3. Membentuk model regresi binomial negatif.
  4. Melakukan uji *Breusch-Pagan* (BP) untuk mengetahui ada tidak heteroskedastisitas. Apabila terjadi heteroskedastisitas maka menunjukkan adanya efek heterogenitas spasial. Hipotesis uji sebagai berikut (Anselin, 1988):

$H_0$  : terjadi homoskedastisitas (ragam galat konstan)

$H_1$  : terjadi heteroskedastisitas (ragam galat tidak konstan)

$$BP = \left(\frac{1}{2}\right) f^T Z(Z^T Z)^{-1} Z^T f \quad (3)$$

Statistik uji BP akan tolak  $H_0$  jika nilai BP  $> x_k^2$  atau  $p - value < \alpha$ .

5. Membentuk model GWNBR dengan persamaan berikut (Silva & Rodrigues, 2014):

$$y_i \sim NB[\exp(\sum_k \beta_k(u_i, v_i)x_{ik}, \theta(u_i, v_i))] \quad (4)$$

Tahapan pemodelan GWNBR meliputi:

- a. Menghitung jarak antar kabupaten/kota  $j$  berdasarkan data lintang dan bujur dalam satuan km.
- b. Menentukan *bandwidth* optimum untuk fungsi bobot kernel menggunakan metode *Cross Validation* (CV) dengan rumus (Fotheringham et al., 2002):

$$CV = \sum_{i=1}^n [y_i - \hat{y}_{\neq i}(h)]^2 \quad (5)$$

- c. Menentukan matriks pembobot menggunakan fungsi kernel *Adaptive Bisquare* dan *Adaptive Gaussian* (Fotheringham et al., 2002).

Fungsi kernel *Adaptive Gaussian*

$$w_{ij} = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{d_{ij}}{h_i}\right)^2\right) \quad (6)$$

Fungsi kernel *Adaptive Bisquare*

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

- d. Pemilihan model GWNBR dengan pembobot terbaik berdasarkan *Akaike Information Criterion* (AIC) dengan rumus (Cameron & Trivedi, 2013):

$$AIC = 2 \ln L(\beta, \theta) + 2k \quad (8)$$

- e. Melakukan pendugaan parameter model GWNBR.

- f. Melakukan uji kesesuaian model dengan uji  $F$ . Hipotesis yang digunakan yaitu:

$$H_0 : \beta_j(u_i, v_i) = \beta_j, j = 1, 2, \dots, p$$

$$H_1 : \beta_j(u_i, v_i) \neq \beta_j$$

Statistik uji (Caraka & Yasin, 2017):

$$F_{hitung} = \frac{\text{devians model A}/df_A}{\text{devians model B}/df_B} \quad (9)$$

Pengujian akan tolak  $H_0$  jika  $F_{hitung} > F_{tabel}(\alpha; df_A, df_B)$  atau  $p - value < \alpha$ .

- g. Melakukan uji parameter secara serentak dan parsial dengan hipotesis yaitu:

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

$H_1$  = paling sedikit ada satu  $\beta_j(u_i, v_i) \neq 0 ; j = 1, 2, \dots, p$

Statistik uji (Hilbe, 2007):

$$D(\hat{\beta}) = 2 \sum [y_i \ln\left(\frac{y_i}{\mu_i}\right) - \left(\frac{1}{\alpha_i} + y_i\right) \ln\left(\frac{1 + \alpha_i y_i}{1 + \alpha_i \mu_i}\right)] \quad (10)$$

Kriteria pengujian yaitu tolak  $H_0$  jika  $D(\hat{\beta}) > \chi_{(p, \alpha)}^2$  atau  $p - value < \alpha$ .

Selanjutnya, melakukan uji parsial dengan hipotesis yaitu:

$$H_0 : \beta_j(u_i, v_i) = 0 \text{ untuk } j = 1, 2, \dots, p$$

$$H_1 : \beta_j(u_i, v_i) \neq 0 \text{ untuk } j = 1, 2, \dots, p$$

Statistik uji:

$$Z_{hitung} = \frac{\hat{\beta}_j(u_i, v_i)}{SE(\hat{\beta}_j(u_i, v_i))} \quad (11)$$

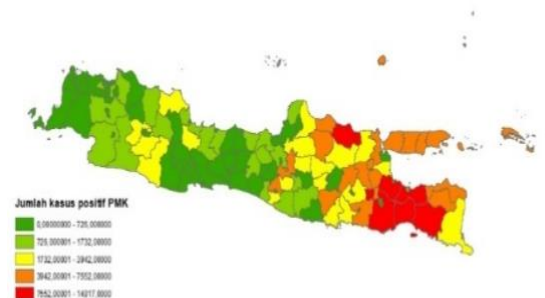
Kriteria pengujian yaitu tolak  $H_0$  jika  $|Z_{hitung}| > Z_{\alpha/2}$  atau  $p - value < \alpha$ .

6. Menginterpretasikan model GWNBR.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Peta Tematik

Informasi mengenai persebaran jumlah kasus positif PMK di tiap kabupaten/kota di Pulau Jawa dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Sebaran Jumlah Kasus PMK di Pulau Jawa

Sumber: Data diolah, 2024

Peta sebaran pada Gambar 1 menunjukkan beragamnya kasus PMK di Pulau Jawa. Hal ini terlihat dari persebaran warna pada peta dengan warna hijau menunjukkan kasus terendah dan warna merah menunjukkan kasus tertinggi. Sebaran dengan jumlah kasus PMK yang rendah terdapat di kabupaten/kota Provinsi DKI Jakarta dan Banten, sedangkan kabupaten/kota dengan jumlah kasus PMK yang tinggi menyebar di seluruh Provinsi Jawa Timur dengan jumlah kasus PMK tertinggi adalah kabupaten Malang. Hal ini dapat terjadi karena disebabkan geografis di setiap kabupaten memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Geografis

Kabupaten Malang sebagian besar merupakan dataran tinggi yang dikelilingi pegunungan dan perbukitan dengan suhu rata-rata berkisar antara 19,1°C hingga 26,6°C dan kelembaban udara rata-rata antara 71% hingga 89% (Pamungkasih & Febrianto, 2021). Selain itu, berdasarkan data Dinas Pertanian RI tahun 2022, Jawa Timur merupakan provinsi dengan populasi ternak tertinggi, hal ini terlihat dari kondisi usaha ternak di Jawa Timur yang mengalami perkembangan dan meningkatnya jumlah populasi ternak sapi setiap tahunnya (Soetriono et al., 2019). Sementara itu, wilayah DKI Jakarta adalah daerah dengan dataran rendah yang suhu harian rata-rata berada dalam kisaran 26°C hingga 28°C dan merupakan daerah perkotaan dengan populasi ternak yang rendah.

Faktor yang berperan penting dalam penyebaran virus PMK adalah lalu lintas perdagangan dari satu wilayah ke wilayah lainnya. Namun, penyebaran virus melalui udara juga memegang peranan dalam menyebabkan terjadinya epidemi. Penyebaran virus di udara dipengaruhi oleh kecepatan angin dan juga kondisi iklim dimana daya tahan virus di udara tergantung pada suhu dan kelembaban, virus dapat bertahan hidup lebih lama jika berada pada daerah dingin dan kelembaban diatas 60% (Hutabarat et al., 2022).

Oleh karena itu, kondisi lingkungan memengaruhi penyebaran dan beragamnya kasus PMK di setiap wilayah dan hal ini menunjukkan bahwa terdapat indikasi adanya keragaman spasial di Pulau Jawa.

### 3.2 Uji Multikolinearitas

Pemeriksaan multikolinearitas dengan menghitung nilai VIF dilakukan agar antarvariabel penjelas tidak memiliki korelasi yang tinggi. Gejala multikolinearitas terjadi apabila nilai VIF > 5 (Montgomery et al., 2012). Hasil nilai VIF disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai VIF

Variabel Penjelas	VIF
Kepadatan ternak ( $X_1$ )	3,321740
Populasi ternak ( $X_2$ )	3,982805
Jumlah ternak yang dipotong bersyarat ( $X_3$ )	1,120129
Jumlah vaksinasi ternak ( $X_4$ )	2,334315

Sumber: Data diolah, 2024

Berdasarkan Tabel 1 diperoleh masing-masing nilai VIF pada variabel penjelas memiliki nilai kurang dari 5. Dengan demikian, tidak terdapat gejala multikolinearitas antarvariabel penjelas.

### 3.3 Pemodelan Regresi Poisson

Data jumlah kasus PMK tahun 2022 merupakan data cacah sehingga dilakukan pemodelan regresi Poisson. Pada Tabel 2 ditunjukkan estimasi parameter model.

Tabel 2. Estimasi Parameter Regresi Poisson

Parameter	Estimasi	<i>p</i> - value
$\beta_0$	7,417995	$2 \times 10^{-16}$ *
$\beta_1$	0,047390	$2 \times 10^{-16}$ *
$\beta_2$	0,495304	$2 \times 10^{-16}$ *
$\beta_3$	0,256233	$2 \times 10^{-16}$ *
$\beta_4$	0,169093	$2 \times 10^{-16}$ *
Devians = 191874		
<i>df</i> = 113		

Sumber: Data diolah, 2024

Berdasarkan Tabel 2, model regresi Poisson yang dihasilkan adalah sebagai berikut.

$$\mu_i = \exp(7,417995 + 0,047390 X_1 + 0,495304 X_2 + 0,256233 X_3 + 0,169093 X_4)$$

Selanjutnya, melakukan pengecekan overdispersi. Berdasarkan hasil bagi nilai devians dengan derajat bebas yang ditunjukkan dari Tabel 2 diperoleh hasilnya adalah 1698 yang berarti nilai tersebut lebih besar dari 1. Oleh karena itu, model regresi Poisson mengalami overdispersi.

### 3.4 Pemodelan Regresi Binomial Negatif

Langkah selanjutnya, yaitu memodelkan regresi binomial negatif dengan Tabel 3 menunjukkan estimasi parameter model.

Tabel 3. Estimasi Parameter Regresi Binomial Negatif

Parameter	Estimasi	<i>p</i> - value
$\beta_0$	7,2197	$2 \times 10^{-16}$ *
$\beta_1$	0,1730	0,36494
$\beta_2$	0,6240	0,00784 *
$\beta_3$	0,6911	$1,53 \times 10^{-10}$ *
$\beta_4$	0,3445	0,07105

Sumber: Data diolah, 2024

Berdasarkan Tabel 3, model regresi binomial negatif yang dihasilkan adalah sebagai berikut.

$$\mu_i = \exp(7,1934 + 0,5359 X_2 + 0,3178 X_3 + 0,5613 X_4)$$

### 3.5 Uji Heterogenitas Spasial

Analisis uji spasial dilakukan untuk melihat apakah data yang digunakan memenuhi aspek spasial. Salah satunya dilakukan uji heterogenitas spasial, yang merujuk pada perbedaan karakteristik data yang mengakibatkan hubungan antara faktor-faktor yang diteliti bervariasi di setiap lokasi pengamatan (Pfeiffer et al., 2008). Kondisi perbedaan karakteristik data menunjukkan bahwa ragam tidak konstan. Suatu ragam yang tidak konstan disebut heteroskedastisitas. Salah satu statistik uji yang digunakan untuk mendeteksi heteroskedastisitas adalah uji *Breusch-Pagan* (BP). Hipotesis yang digunakan dalam uji ini yaitu:

$H_0$  : terjadi homoskedastisitas (ragam galat konstan)

$H_1$  : terjadi heteroskedastisitas (ragam galat tidak konstan)

Berdasarkan hasil uji *Breusch-Pagan* diperoleh nilai  $p$ -value sebesar  $8,685 \times 10^{-5}$ . Hal ini menunjukkan nilai  $p$ -value  $< \alpha$  dengan  $\alpha = 0,05$  sehingga keputusan tolak  $H_0$  yang berarti terjadi heteroskedastisitas atau ragam tidak konstan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa terdapat heterogenitas spasial pada data.

### 3.6 Pemodelan GWNBR

Tahap pertama yang dilakukan dalam pemodelan GWNBR adalah menghitung jarak *euclidian* di masing-masing kabupaten/kota. Tahap kedua yaitu menghitung nilai pembobot dari fungsi kernel *Adaptive Gaussian* dan *Adaptive Bisquare* dengan menggunakan nilai jarak *Euclidian* dan nilai *bandwidth* optimum. Kemudian, dilakukan pemilihan model dengan pembobot terbaik dengan membandingkan nilai AIC dari fungsi kernel *Adaptive Bisquare* dan *Adaptive Gaussian*. Nilai AIC masing-masing fungsi kernel ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai AIC Fungsi Kernel

Fungsi Kernel	AIC
<i>Adaptive Bisquare</i>	1899,019
<i>Adaptive Gaussian</i>	1797,518

Sumber: Data diolah, 2024

Berdasarkan Tabel 4 menunjukkan bahwa fungsi kernel *Adaptive Bisquare* memiliki nilai AIC terkecil. Oleh karena itu, model GWNBR dengan fungsi kernel *Adaptive Bisquare* merupakan model terbaik yang dapat digunakan

dalam memodelkan kasus PMK. Selanjutnya, dilakukan uji signifikansi model GWNBR dengan fungsi kernel *Adaptive Bisquare*.

### 3.7 Uji Kesesuaian Model

Uji kesesuaian model dilakukan menggunakan uji  $F$  untuk menguji ada atau tidaknya perbedaan yang signifikan antara model GWNBR dengan model binomial negatif. Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai  $F_{hitung}$  sebesar 1,600823 dan  $F_{tabel(0,05;113,92)}$  sebesar 1,392912. Hal ini menunjukkan bahwa  $F_{hitung}$  lebih besar dari  $F_{tabel(0,05;113,92)}$  yang berarti terdapat perbedaan yang signifikan antara model GWNBR kernel *Adaptive Bisquare* dengan model binomial negatif.

### 3.8 Uji Signifikansi Parameter Model GWNBR

Uji signifikansi model GWNBR dilakukan secara serentak dan parsial. Berdasarkan perhitungan uji serentak diperoleh nilai devians dari model GWNBR sebesar 130,9497 dengan nilai  $\chi^2_{(0,05;4)}$  sebesar 9,4877 yang menunjukkan bahwa nilai devians  $> \chi^2_{(0,05;4)}$  sehingga keputusan tolak  $H_0$  yang berarti paling sedikit ada satu parameter yang memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel respon.

Adapun kelompok kabupaten/kota berdasarkan variabel penjas yang berpengaruh signifikan pada masing-masing kabupaten/kota di Pulau Jawa dengan fungsi kernel *Adaptive Bisquare* disajikan pada Tabel 5.

Berdasarkan Tabel 5 diperoleh terdapat lima kelompok kabupaten/kota berdasarkan variabel penjas yang berpengaruh signifikan yang mana setiap kabupaten/kota di Pulau Jawa menghasilkan estimasi parameter yang berbeda-beda sehingga akan terbentuk model GWNBR yang bervariasi di setiap kabupaten/kota.

Selanjutnya, dilakukan uji signifikansi parameter. Berdasarkan perhitungan menggunakan *software* R.4.3.1 diperoleh nilai  $Z_{hitung}$  masing-masing kabupaten/kota di Pulau Jawa. Adapun contoh nilai  $|Z_{hitung}|$  Kabupaten Malang sebagai kabupaten dengan kasus PMK tertinggi dan Kota Jakarta Pusat sebagai salah satu kota dengan kasus terendah ditampilkan pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 5. Kelompok Kabupaten/Kota Berdasarkan Variabel yang Signifikan

No	Kabupaten/Kota	Variabel Signifikan
1	Kota Cirebon, Cirebon	$(X_1), (X_2), (X_3), (X_4)$
2	Tulungagung, Tuban, Trenggalek, Surabaya, Sidoarjo, Ponorogo, Pasuruan, Ngawi, Nganjuk, Mojokerto, Malang, Magetan, Madiun, Kota Pasuruan, Kota Mojokerto, Kota Malang, Kota Madiun, Kota Kediri, Kota Blitar, Kediri, Jombang, Gresik, Bojonegoro, Blitar, Batu, Bangkalan, Tasikmalaya, Sumedang, Pangandaran, Majalengka, Kuningan, Kota Tasikmalaya, Kota Cimahi, Kota Bandung, Indramayu, Garut, Ciamis, Banjar, Bandung, Tegal, Kota Tegal, Brebes	$(X_1), (X_2), (X_3)$
3	Pacitan, Sukabumi, Subang, Purwakarta, Kota Sukabumi, Karawang, Cianjur, Bandung Barat, Wonogiri, Surakarta, Sukoharjo, Sragen, Semarang, Salatiga, Rembang, Pati, Magelang, Kudus, Kota Semarang, Kota Magelang, Klaten, Karanganyar, Jepara, Grobogan, Demak, Boyolali, Blora, Sleman, Kulon Progo, Gunung Kidul, Bantul, Kota Yogyakarta	$(X_1), (X_3)$
4	Sumenep, Situbondo, Probolinggo, Pamekasan, Lumajang, Kota Probolinggo, Jember, Bondowoso, Banyuwangi	$(X_2), (X_3)$
5	Sampang, Lamongan, Tangerang Selatan, Tangerang, Serang, Pandeglang, Lebak, Kota Tangerang, Kota Serang, Jakarta Utara, Jakarta Timur, Jakarta Selatan, Jakarta Pusat, Jakarta Barat, Kota Bogor, Kota Bekasi, Depok, Bogor, Bekasi, Wonosobo, Temanggung, Purworejo, Purbalingga, Pemalang, Pekalongan, Kota Pekalongan, Kendal, Kebumen, Cilacap, Batang, Banjarnegara, Banyumas, Cilegon	$(X_3)$

Sumber: Data diolah, 2024

Tabel 6. Pengujian Signifikansi Secara Parsial Kabupaten Malang

Parameter	Estimasi	$ Z_{hitung} $	Ket.
$\beta_0$	7,517735	183,5	Signifikan
$\beta_1$	0,143367	2,086	Signifikan
$\beta_2$	0,631177	9,490	Signifikan
$\beta_3$	0,913138	8,439	Signifikan

Sumber: Data diolah, 2024

Tabel 7. Pengujian Signifikansi Secara Parsial Kota Jakarta Pusat

Parameter	Estimasi	$ Z_{hitung} $	Ket.
$\beta_0$	7,189288	27,0478	Signifikan
$\beta_3$	0,370005	8,44574	Signifikan

Sumber: Data diolah, 2024

Tabel 6 menunjukkan bahwa terdapat tiga variabel penjelas yang berpengaruh signifikan pada Kabupaten Malang yaitu kepadatan ternak ( $X_1$ ), populasi ternak ( $X_2$ ), dan jumlah ternak yang dipotong bersyarat ( $X_3$ ) sedangkan Tabel 7 menunjukkan bahwa variabel kepadatan ternak ( $X_1$ ) dan populasi ternak ( $X_2$ ) tidak berpengaruh signifikan dan hanya terdapat satu variabel penjelas yang berpengaruh signifikan pada Kota Jakarta Pusat yaitu jumlah ternak yang dipotong bersyarat ( $X_3$ ). Berdasarkan kedua tabel menunjukkan perbedaan variabel yang berpengaruh signifikan antara Kabupaten Malang dan Kota Jakarta Pusat yang salah satunya disebabkan oleh pengaruh kondisi geografis di masing-masing wilayah.

### 3.9 Interpretasi Model GWNBR

Model GWNBR dengan contoh estimasi model pada Kabupaten Malang dengan pembobot *Adaptive Bisquare* adalah sebagai berikut:

$$\mu_{17} = \exp(7,517735 + 0,143367 X_1 + 0,631177 X_2 + 0,913138 X_3)$$

Interpretasi model adalah apabila kepadatan ternak meningkat satu ekor/km<sup>2</sup> maka jumlah kasus positif PMK akan meningkat sebesar 1,154153 kejadian dengan faktor-faktor lainnya dianggap konstan. Kemudian, apabila populasi ternak meningkat satu ekor maka jumlah kasus positif PMK akan meningkat sebesar 1,879822 kejadian dengan faktor-faktor lainnya dianggap konstan. Selain itu, apabila jumlah ternak yang dipotong bersyarat meningkat satu ekor maka jumlah kasus positif PMK akan meningkat sebesar 1,537991 kejadian dengan faktor-faktor lainnya dianggap konstan. Hal tersebut sejalan dengan adanya kasus PMK yang tinggi sehingga

menyebabkan pemotongan bersyarat juga banyak dilakukan. Namun, menurut penelitian Tildesley et al., (2009) salah satu strategi dalam mengendalikan epidemi adalah dengan pemotongan bersyarat pada ternak yang terinfeksi. Pemotongan bersyarat yang efisien dalam waktu 24 sampai 48 jam dapat mencegah penyebaran infeksi ke wilayah lain dan pemotongan bersyarat pada jarak yang optimal dari peternakan yang terinfeksi dapat meminimalkan dampak epidemi.

Sedangkan, Model GWNBR pada Kota Jakarta Pusat adalah sebagai berikut:

$$\mu_{49} = \exp (7,189288 + 0,370005 X_3)$$

Interpretasi model adalah bahwa apabila jumlah ternak yang dipotong bersyarat meningkat satu ekor maka jumlah kasus positif PMK akan meningkat sebesar 1,447742 kejadian dengan faktor-faktor lainnya dianggap konstan.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Secara keseluruhan setiap kabupaten/kota di Pulau Jawa memiliki model yang beragam di mana berdasarkan hasil pemodelan terdapat lima kelompok kabupaten/kota berdasarkan variabel penjelas yang berpengaruh signifikan terhadap penyebaran PMK dengan pembobot *Adaptive Bisquare*. Kelompok pertama yaitu  $X_1, X_2, X_3, X_4$ , kelompok kedua yaitu  $X_1, X_2, X_3$ , kelompok ketiga yaitu  $X_1, X_3$ , kelompok keempat yaitu  $X_2, X_3$ , dan kelompok kelima yaitu ( $X_3$ ). Kemudian, variabel penjelas yang dominan berpengaruh adalah kepadatan ternak ( $X_1$ ), populasi ternak ( $X_2$ ), dan jumlah ternak yang dipotong bersyarat ( $X_3$ ).

Dari penelitian ini diharapkan dapat mengoptimalkan langkah-langkah pencegahan agar dampak yang ditimbulkan dapat lebih minim serta pengontrolan pada populasi dan kepadatan ternak agar saat terjadi situasi, seperti wabah dapat dikendalikan dengan baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anselin, L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Kluwer Academic Publishers.
- Berk, R., & MacDonald, J. M. (2008). Overdispersion and Poisson Regression. *Journal of Quantitative Criminology*, 24(3), 269–284. <https://doi.org/10.1007/s10940-008-9048-4>

- Cameron, A. C., & Trivedi, P. K. (2013). *Regression Analysis of Count Data* (2 ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/ccol0521632013>
- Caraka, R. E., & Yasin, H. (2017). Geographically Weighted Regression (GWR) Sebuah Pendekatan Regresi Geografis. In *Mobius* (1 ed.). <http://www.nber.org/papers/w16019>
- Chen, J., Liu, L., Xiao, L., Xu, C., & Long, D. (2020). Integrative Analysis of Spatial Heterogeneity and Overdispersion of Crime with a Geographically Weighted Negative Binomial Model. *ISPR Int. J. Geo-Inf*, 9(60).
- Chhetri, B. K., Perez, A. M., & Thurmond, M. C. (2010). Factors Associated with Spatial Clustering of Foot-and-Mouth Disease in Nepal. *Tropical Animal Health and Production*, 42(7), 1441–1449. <https://doi.org/10.1007/s11250-010-9573-7>
- Dhakal, S. P., Pandey, K., Upadhyaya, M., Karki, S., Ramdam, N., VanDyk, S., & Premashthira, S. (2023). Spatiotemporal Distribution of Foot-and-Mouth Disease in Nepal Between 2019 and 2021. *Animal Diseases*, 3(39), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s44149-023-00104-9>
- Fotheringham, A. S., Brunson, C., & Charlton, M. (2002). *Geographically Weighted Regression the analysis of spatially varying relationships*. John Wiley & Sons Ltd.
- Hayama, Y., Yamamoto, T., Kobayashi, S., Muroga, N., & Tsutsui, T. (2016). Potential Impact of Species and Livestock Density on the Epidemic Size and Effectiveness of Control Measures for Foot-and-Mouth Disease in Japan. *Journal of Veterinary Medical Science*, 78(1), 13–22. <https://doi.org/10.1292/jvms.15-0224>
- Hilbe, J. M. (2007). *Negative Binomial Regression*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811852>
- Hutabarat, T. S. P. N., Akoso, B. T., Putra, A. A. G., Heriyanto, A., Hassan, M. Z., Trigunadi, B., Sosiawan, H. B., & Irtisan. (2022). *Kesiagaan Darurat Veteriner Indonesia Seri Penyakit Mulut dan Kuku* (3.1). Kementerian Pertanian.

- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). Introduction to Linear Regression Analysis. In *Technometrics* (5th ed.). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1198/tech.2002.s714>
- O'Brien, R. M. (2007). A Caution Regarding Rules of Thumb for Variance Inflation Factors. *Quality and Quantity*, 41(5), 673–690. <https://doi.org/10.1007/s11135-006-9018-6>
- Pamungkas, P. A., Putra, P. D. P., Nugraha, G. W. A., Candrayani, P. P., Jesus, C. S. de, & Batan, I. W. (2023). Kajian Pustaka: Faktor-Faktor Risiko Penyakit Mulut dan Kuku pada Hewan Pemamah Biak (Ruminansia) Kecil. *Indonesia Medicus Veterinus*, 12(1), 140–149. <https://doi.org/10.19087/imv.2023.12.1.140>
- Pamungkasih, E., & Febrianto, N. (2021). Profil Peternakan Sapi Perah di Dataran Rendah Kabupaten Malang. *Karta Raharja*, 3(2), 29–35.
- Pfeiffer, D. U., Robinson, T. P., Stevenson, M., Stevens, K. B., Rogers, D. J., & Clements, A. C. A. (2008). *Spatial Analysis in Epidemiology*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198509882.003.0007>
- Seyoum, W., & Tora, E. (2023). Foot and Mouth Disease in Ethiopia: a Systematic Review and Meta-Analysis in the Last Fifteen Years (2007–2021). *Bulletin of the National Research Centre*, 47(32), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s42269-023-01004-1>
- Silva, A. R. da, & Rodrigues, T. C. V. (2014). Geographically Weighted Negative Binomial Regression—incorporating overdispersion. *Stat Comput*, 24, 769–783. <https://doi.org/10.1007/s11222-013-9401-9>
- Soetriono, Soejono, D., Zahrosa, D. B., Maharani, A. D., & Amam. (2019). Strategi Pengembangan dan Diversifikasi Sapi Potong di Jawa Timur. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Peternakan Tropis*, 6(2), 138–145.
- Subramaniam, S., Mohapatra, J. K., Sahoo, N. R., Sahoo, A. P., Dahiya, S. S., Rout, M., Biswal, J. K., Ashok, K. S., Mallick, S., Ranjan, R., Jana, C., & Singh, R. P. (2022). Foot-and-Mouth Disease Status in India During the Second Decade of the Twenty-First Century (2011–2020). *Veterinary Research Communications*, 46, 1011–1022. <https://doi.org/10.1007/s11259-022-10010-z>
- Tildesley, M. J., Bessell, P. R., Keeling, M. J., & Woolhouse, M. E. J. (2009). The Role of Pre-Emptive Culling in the Control of Foot-and-Mouth Disease. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276, 3239–3248. <https://doi.org/10.1098/rspb.2009.0427>