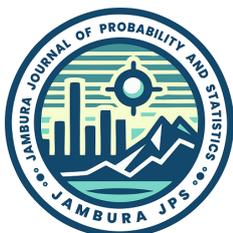


Analisis Geographically Weighted Regression (GWR) Berbasis Pemetaan pada Jumlah Menara Telepon Seluler di Kabupaten Lombok Tengah Tahun 2021

Rana Ambarwati, Izu Izatul Febiana, and Siti Hariati Hastuti



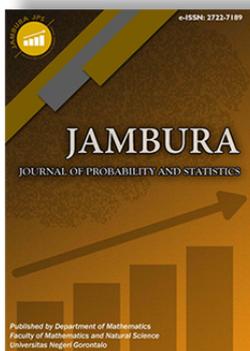
Volume 6, Issue 1, Pages 7–13, May 2025

Received 20 March 2024, Revised 05 November 2024, Accepted 22 February 2025, Published Online 31 Mei 2025

To Cite this Article : R. Ambarwati, I. I. Febiana, and S. H. Hastuti, “ Analisis Geographically Weighted Regression (GWR) Berbasis Pemetaan pada Jumlah Menara Telepon Seluler di Kabupaten Lombok Tengah Tahun 2021 ”, *Jambura J. Probab. Stat.*, vol. 6, no. 1, pp. 7–13, 2025, <https://doi.org/10.34312/jjps.v4i1.24770>

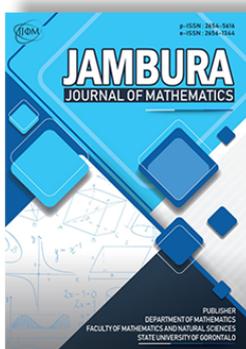
© 2025 by author(s)

JOURNAL INFO • JAMBURA JOURNAL OF PROBABILITY AND STATISTICS



	Homepage	: https://ejournal.ung.ac.id/index.php/jps/index
	Journal Abbreviation	: Jambura J. Probab. Stat.
	Frequency	: Biannual (May and November)
	Publication Language	: English (preferable), Indonesia
	DOI	: https://doi.org/10.34312/jjps
	Online ISSN	: 2722-7189
	Editor-in-Chief	: Ismail Djakaria
	Publisher	: Department of Mathematics, Universitas Negeri Gorontalo
	Country	: Indonesia
	OAI Address	: http://ejournal.ung.ac.id/index.php/jps/oai
	Google Scholar ID	: kWdujzMAAAJ
	Email	: redaksi.jjps@ung.ac.id

JAMBURA JOURNAL • FIND OUR OTHER JOURNALS



Jambura Journal of Mathematics



Jambura Journal of Mathematics Education



Jambura Journal of Biomathematics



EULER : Jurnal Ilmiah Matematika, Sains, dan Teknologi

Analisis Geographically Weighted Regression (GWR) Berbasis Pemetaan pada Jumlah Menara Telepon Seluler di Kabupaten Lombok Tengah Tahun 2021

Rana Ambarwati^{1*}, Izu Izatul Febiana², dan Siti Hariati Hastuti³

^{1, 2, 3}Program Studi Statistika, Fakultas MIPA, Universitas Hamzanwadi

ARTICLE HISTORY

Received 20 March 2024
Revised 05 November 2024
Accepted 22 February 2025
Published 31 Mei 2025

KATA KUNCI

Weighted Regression
Regresi OLS
Jumlah Menara Telepon Seluler

KEYWORDS

Weighted Regression
OLS Regression
Number of Cell Phone Towers

ABSTRAK. Menara telepon seluler adalah struktur tinggi di mana peralatan telekomunikasi dan antena dipasang untuk mendukung jaringan seluler. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh Jumlah Penduduk (X_1) dan Jumlah Operator Layanan (X_2) terhadap Jumlah Menara Telepon Seluler (Y) yang ada di 139 desa di Kabupaten Lombok Tengah pada tahun 2021. Metode Geographically Weighted Regression (GWR) digunakan untuk memahami variabilitas spasial dalam hubungan antara variabel X_1 dan X_2 terhadap variabel Y . Metode tersebut merupakan pengembangan dari metode analisis Regresi OLS dengan mempertimbangkan variabilitas spasial. Dengan menggunakan metode tersebut diharapkan dapat ditemukan pola distribusi spasial yang lebih akurat dan solusi yang dapat membantu perencanaan pengembangan infrastruktur telekomunikasi di wilayah ini. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat variabilitas spasial yang signifikan pada sebaran jumlah menara telepon seluler berdasarkan uji Breusch-Pagan. Hasil uji signifikansi parameter menunjukkan bahwa hanya variabel Jumlah Penduduk (X_1) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap Jumlah Menara Telepon Seluler (Y) di seluruh unit pengamatan (desa) di Kabupaten Lombok Tengah. Hasil perbandingan model menunjukkan bahwa model GWR pada Jumlah Menara Telepon Seluler lebih baik dari pada Regresi OLS dengan nilai AIC dan SSE yang lebih rendah serta nilai koefisien determinasi (R^2) yang lebih tinggi.

ABSTRACT. Cell towers are tall structures where telecommunications equipment and antennas are installed to support cellular networks. This research aims to analyze the influence of Population Size (X_1) and the Number of Service Operators (X_2) on the Number of Cellular Phone Towers (Y) in 139 villages in Central Lombok Regency in 2021. The Geographically Weighted Regression (GWR) method is used to understand spatial variability in the relationship between variables (X_1) and (X_2) with respect to variable Y . This method is an advancement of the OLS regression analysis method, taking spatial variability into account. By using this method, it is hoped that more accurate spatial distribution patterns can be identified, along with solutions that can assist in the planning of telecommunications infrastructure development in this area. The analysis results indicate that there is significant spatial variability in the distribution of the number of cellular towers based on the Breusch-Pagan test. The significance test results for the parameters show that only the Population Size variable (X_1) has a significant effect on the Number of Cellular Towers (Y) across all observation units (villages) in Central Lombok Regency. The comparison of models shows that the GWR model for the Number of Cellular Towers is better than the OLS Regression, with lower AIC and SSE values and a higher coefficient of determination (R^2).



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License. Editorial of JJPS: Department of Statistics, Universitas Negeri Gorontalo, Jln. Prof. Dr. Ing. B. J. Habibie, Bone Bolango 96554, Indonesia.

1. Pendahuluan

Industri telekomunikasi Indonesia berkembang dengan cepat, dan sebagai negara berkembang, Indonesia tentunya akan terlibat dalam kemajuan teknologi informasi dalam komunikasi, seperti peralihan dari *handphone* yang hanya dapat menelpon dan mengirim pesan ke *smartphone* yang berfungsi untuk berbagai aspek kehidupan. Operator telekomunikasi, yang berfungsi sebagai penyelenggara telekomunikasi, berkompetisi untuk memberikan layanan terbaik untuk menarik perhatian masyarakat Indonesia untuk memenuhi kebutuhan komunikasi mereka [1].

Kemajuan teknologi telekomunikasi, khususnya dalam layanan telepon seluler, telah menjadi bagian penting dari gaya hidup masyarakat kontemporer [2]. Di Kabupaten Lombok Tengah, pertumbuhan jumlah penduduk dan perkembangan industri telekomunikasi telah menciptakan tantangan baru dalam penyediaan infrastruktur telepon seluler yang memadai. Penempatan menara telepon seluler yang efisien dan optimal menjadi kunci utama dalam memastikan cakupan jaringan yang luas dan kualitas layanan yang memuaskan.

Pentingnya menara telepon seluler yang cukup dan tersebar merata menjadi perhatian serius, terutama mengingat ke-

*Corresponding Author.

butuhan akses komunikasi yang semakin meningkat [3]. Hal ini mencerminkan kompleksitas hubungan antara jumlah penduduk, operator layanan telepon seluler, dan distribusi menara telepon seluler di Kabupaten Lombok Tengah. Pertumbuhan komunikasi yang sangat cepat disertai dengan perkembangan teknologi telekomunikasi, mendorong peningkatan permintaan akan layanan telepon seluler. Hal ini kemudian mendorong perusahaan operator seluler untuk membangun menara telekomunikasi sebagai bentuk pelayanan bagi pelanggan operator seluler [4].

Telekomunikasi sendiri merupakan aspek penting dalam perkembangan suatu daerah, memainkan konektivitas dan akses informasi [5]. Saat ini, industri telekomunikasi dan teknologi telah mengalami kemajuan yang sangat cepat, terutama dalam sistem komunikasi nirkabel (*wireless*) dan bergerak (*mobile*) [6]. Karena itu, kebutuhan akan fasilitas yang membantu membangun jaringan nirkabel meningkat, seperti menara telekomunikasi, yang membantu pengguna berkomunikasi dengan jaringan. Untuk meningkatkan pelayanan dan kualitas jaringan telekomunikasi, penumbuhan infrastruktur telekomunikasi utama, menara telekomunikasi, sangat penting [7]. Dalam beberapa tahun terakhir, kemajuan teknologi telekomunikasi, khususnya layanan telepon seluler, telah mengalami peningkatan yang signifikan [8]. Faktor-faktor seperti jumlah penduduk dan jumlah operator layanan telepon seluler menjadi elemen kunci dalam menentukan distribusi dan kebutuhan infrastruktur menara telepon seluler di kabupaten Lombok Tengah.

Dalam konteks ini, analisis spasial menjadi pendekatan yang relevan dan efektif. Data spasial biasanya berkaitan dengan area atau mewakili area tertentu di permukaan bumi [9]. Statistika spasial merupakan salah satu cabang dari statistika terapan, statistika spasial menganalisis data yang berkorelasi secara spasial [10]. *Geographically Weighted Regression* (GWR), jenis lokal regresi OLS, adalah salah satu metode analisis spasial. GWR memungkinkan peneliti untuk mengevaluasi variasi geografis (geografi) yang mungkin ada dalam hubungan antar variabel terikat dan bebas di seluruh wilayah yang diamati [11]. Metode ini juga memungkinkan untuk memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang bagaimana kondisi geografis mempengaruhi sebaran menara telepon seluler [12]. Ide dasar dalam menaksir parameter modelnya, model GWR menggunakan elemen lokasi atau geografi sebagai pembobotan [13].

GWR dipilih karena memungkinkan penanganan variasi spasial yang berbeda di berbagai wilayah di Lombok Tengah. Beberapa penelitian terbaru yang menggunakan pendekatan GWR telah mengkaji pemetaan dan analisis spasial sebaran menara telekomunikasi di berbagai daerah di Indonesia. Seperti, penelitian yang dilakukan oleh Pratama dkk menggunakan GWR untuk memetakan persebaran menara BTS di Kota Bandung dan mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhinya secara spasial [14]. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa GWR efektif dalam menangkap keragaman spasial dalam sebaran menara BTS serta faktor-faktor penentu yang bervariasi di berbagai wilayah Kota Bandung. Selanjutnya, penelitian oleh Rahayu dkk di Kabupaten Bogor menerapkan GWR untuk menganalisis variasi spasial dalam kebutuhan penambahan menara telekomunikasi berdasarkan karakteristik wilayah. Studi ini menyimpulkan bahwa GWR dapat mengidentifikasi daerah-daerah yang mem-

butuhkan penambahan menara secara lebih akurat karena mempertimbangkan heterogenitas kondisi spasial di Kabupaten Bogor [15].

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, terdapat beberapa kesenjangan yang perlu diatasi. Pertama, sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada wilayah perkotaan besar, sementara karakteristik wilayah non-urban seperti Kabupaten Lombok Tengah memiliki tantangan dan kebutuhan yang berbeda. Kedua, penelitian sebelumnya cenderung menggunakan pendekatan analisis spasial yang lebih sederhana, tanpa mempertimbangkan hubungan antar variabel geografis secara komprehensif. Ketiga, belum ada penelitian yang secara khusus mengintegrasikan faktor jumlah penduduk dan jumlah operator layanan seluler dalam analisis spasial sebaran menara telekomunikasi.

Penelitian ini berbeda dari penelitian sebelumnya dalam beberapa hal. Pertama, penelitian ini akan berkonsentrasi pada daerah Kabupaten Lombok Tengah, yang memiliki karakteristik demografis dan geografis yang berbeda dari wilayah perkotaan. Kedua, untuk melihat variasi spasial dalam hubungan antar variabel, metode GWR yang lebih kompleks akan digunakan. Ketiga, faktor jumlah penduduk dan jumlah operator layanan seluler akan dimasukkan sebagai variabel independen dalam analisis. Dengan menganalisis pengaruh jumlah penduduk dan jumlah operator layanan telepon seluler terhadap jumlah menara telepon seluler menggunakan metode GWR, diharapkan dapat ditemukan pola distribusi spasial yang lebih akurat dan solusi yang dapat membantu perencanaan pengembangan infrastruktur telekomunikasi di wilayah ini. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat membantu masyarakat Kabupaten Lombok Tengah dengan meningkatkan ketersediaan dan kualitas layanan telepon seluler, sekaligus memberikan kontribusi baru dalam literatur tentang analisis spasial infrastruktur telekomunikasi di wilayah non-urban.

2. Metode Penelitian

2.1. Penelitian dan Sumber Data

Data yang digunakan adalah numerik, karena penelitian ini adalah kuantitatif. Data yang digunakan berasal dari publikasi resmi Badan Pusat Statistik Kabupaten Lombok Tengah Tahun 2022, yang dapat diakses di <https://lomboktengahkab.bps.go.id/>, yang berisi data sebaran jumlah menara telepon seluler di seluruh desa di Kabupaten Lombok Tengah tahun 2021. *Software* R Studio digunakan untuk mengolah dan menganalisis data ini. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah jumlah penduduk (X_1) dan jumlah operator layanan (X_2) serta variabel terikat berupa jumlah menara telepon seluler (Y).

2.2. Langkah-langkah Analisis

Langkah-langkah proses analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Eksplorasi data.
2. Melakukan pemodelan regresi OLS dengan langkah berikut:
 - (a) Estimasi parameter model dengan metode *Ordinary Least Square* (OLS).
Menurut Kutner, *Ordinary Least Square* (OLS) adalah dasar metode yang dapat digunakan untuk mengestimasi parameter dalam model regresi sederhana dan

regresi linier berganda. Berikut ini adalah bentuk persamaan yang paling umum:

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j X_{ij} + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

dengan,

- Y_i = Nilai yang diamati untuk variabel respon pengamatan adalah $i = 1, 2, \dots, n$
- X_{ik} = Nilai variabel prediktor ke- k pada pengamatan ke- i
- β_0 = Intersep atau menggabungkan model regresi
- β_k = Faktor regresi variabel prediktor adalah ke- k , $k = 1, 2, \dots, p$
- ε_i = Error pengamatan normal dengan mean nol dan varians konstanta ($\varepsilon_i \sim IIDN(0, \sigma^2)$)

(b) Melakukan uji signifikansi parameter.

(c) Melakukan uji asumsi klasik.

3. Melakukan uji efek spasial yang terdiri dari:

(a) Uji variabilitas spasial dengan *Breusch-Pagan*.

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

dimana, elemen vektor f dirumuskan sebagai $f_t = \left(\frac{e_t^2}{\sigma^2} - 1 \right)$, dan juga

- BP = Nilai uji *Breusch-Pagan*.
- e_i = Galat untuk pengamatan ke- i jika asumsi $e \sim IIDN(0, \sigma^2)$
- \bar{Y} = Rata-rata variabel respon yang diamati secara keseluruhan
- Z = Untuk setiap pengamatan, matriks X sudah distandarisasi dengan ukuran $n \times (p + 1)$
- σ^2 = Ragam dari e_i
- i = $1, 2, \dots, n$

(b) Uji autokorelasi spasial menggunakan uji moran's I.

$$\bar{I} = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{S_0 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

dengan,

- \bar{y} = Rata-rata variabel y
- w_{ij} = Elemen yang membentuk matriks pembobot
- S_0 = $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}$ = jumlah elemen yang ada dalam matriks pembobot

4. Untuk melakukan pemodelan GWR, ikuti prosedur sebagai berikut:

(a) Menggunakan metode *cross-validation* (CV) untuk menemukan *bandwidth* terbaik berdasarkan fungsi kernel *fixed gaussian*.

Untuk menemukan *bandwidth* terbaik, metode *cross-validation*, juga dikenal sebagai CV, digunakan:

$$CV(b) = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{\neq i}(b))^2 \quad (4)$$

dimana,

$\hat{y}_{\neq i}(b)$ = Nilai estimasi y_i yang diperoleh dari proses pemodelan.

n = Jumlah sampel.

Nilai b yang paling rendah diperoleh untuk mendapatkan nilai b yang menghasilkan nilai CV terbaik.

(b) Menghitung matriks pembobot spasial.

(c) Estimasi parameter model dengan metode *Weighted Least Square* (WLS).

Pengestimasi parameter (\hat{v}_i) pada lokasi ke- i dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Weighted Least Square* atau WLS. Saat mengestimasi parameter di suatu lokasi, metode WLS memberikan pembobot yang berbeda pada setiap amatan. Jarak amatan menentukan besarnya pembobot tersebut. Semakin dekat parameter dengan amatan yang diestimasi, semakin kuat estimasi tersebut (\hat{v}_i) [16]. Parameter estimator model GWR adalah:

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = (X^T W(u_i, v_i) X)^{-1} X^T W(u_i, v_i) Y \quad (5)$$

di mana $W_i = \text{diag} [w_1(u_i, v_i), w_2(u_i, v_i), \dots, w_n(u_i, v_i)]$ adalah diagonal pembobot yang bervariasi dari setiap prediksi parameter pada lokasi i .

(d) Melakukan uji kecocokan model dengan uji *Goodness of fit* (GOF).

Tujuan dari uji kesesuaian model, juga dikenal sebagai uji *Goodness of Fit* (GOF) pada GWR, adalah untuk menentukan model mana yang paling cocok antara GWR dan model Regresi OLS. Pengujian ini dilakukan menggunakan hipotesis berikut:

H_0 : $\beta_k(u_i, v_i) = \beta_k, \quad k = 1, 2, \dots, p$ (Untuk semua $i, i = 1, \dots, n$, faktor geografis tidak mempengaruhi model)

H_1 : Ada minimal satu $\beta_k(u_i, v_i)$ yang terkait dengan lokasi (u_i, v_i) . (Ini menunjukkan bahwa faktor geografis mempengaruhi model).

Jumlah kuadrat residual atau jumlah kuadrat yang diperoleh dari model OLS dan GWR adalah yang menentukan statistika uji untuk uji keberartian model GWR. Untuk mengevaluasi keberartian model GWR, statistik uji berikut digunakan:

$$F = \frac{JK(S)_{OLS} - JK(S)_{GWR}/df_1}{K(S)_{GWR}/df_2} \quad (6)$$

Kriteria uji digunakan dengan n adalah banyak lokasi pengamatan. Nilai $F \geq F_{\alpha;(dk_1, dk_2)}$, maka H_0 ditolak artinya, menunjukkan bahwa model OLS dan model GWR berbeda dalam memodelkan data. Nilai $F_{\alpha;(dk_1, dk_2)}$ diperoleh dari Tabel Distribusi F dengan taraf signifikan α , dk pembilang = $dk_1 = n - p - 1$ dan dk penyebut = $dk_2 = n - 2tr(S1) + tr(S1'S1)$.

(e) Memeriksa signifikansi parameter model GWR di setiap tempat.

(f) Pemilihan model terbaik berdasarkan nilai AIC , SSE , dan R^2 antara regresi OLS dan GWR.

5. Pemetaan dan penarikan kesimpulan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Statistika Deskriptif

Data persentase persebaran jumlah menara telepon seluler dan faktor-faktor yang mempengaruhi persentase persebaran jumlah menara telepon seluler pada Kabupaten Lombok Tengah tahun 2021. Berikut ini adalah gambaran umum tentang data yang digunakan, disajikan secara deskriptif pada tabel 1:

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Lombok Tengah dari publikasi tahun 2022 persentase jumlah menara telepon seluler, jumlah penduduk, dan jumlah operator layanan di Kabupaten Lombok Tengah sebagai berikut ini yang disajikan dalam peta tematik dengan 139 wilayah desa. Berikut disajikan pada Gambar 1 peta penyebaran jumlah menara di Lombok Tengah:

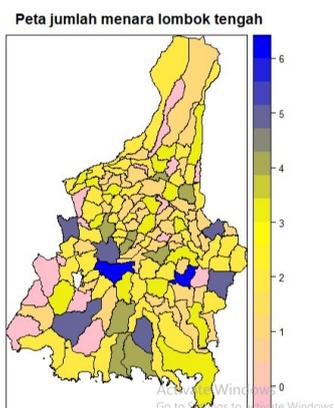


Figure 1. Jumlah Menara Telpon Seluler Lombok Tengah

Dari peta Lombok Tengah dapat dilihat penyebaran jumlah menara telepon seluler di Lombok Tengah. Titik wilayah yang memiliki warna biru artinya wilayah tersebut memiliki jumlah menara telepon seluler terbanyak yaitu 6 menara ada 2 wilayah yaitu, wilayah Mujur dan Penunjak. Titik wilayah yang ditandai warna pink artinya wilayah tersebut tidak memiliki menara telepon seluler sama sekali ada 15 wilayah yaitu, wilayah Bayu Urip, Montong Ajan, Pandan Indah, Montong Sapah, Sengkerang, Teduh, Serage, Prai Make, Batutulis, Muncan, Ubung, Batuliang, Lendang Are, Tampak Siring, dan Lantan. Titik wilayah yang berwarna kuning memiliki 1 sampai 3 menara telepon seluler terdapat 107 wilayah. Wilayah yang memiliki 1 menara telepon seluler sebanyak 44 wilayah, sedangkan wilayah yang memiliki 2 menara telepon seluler sebanyak 48 wilayah dan wilayah yang memiliki 3 menara telepon seluler sebanyak 18 wilayah. Titik wilayah yang berwarna abu memiliki 4 dan 5 menara telepon seluler terdapat. Wilayah yang memiliki 4 menara menara telepon seluler sebanyak 9 wilayah dan wilayah yang memiliki 5 menara menara telepon seluler sebanyak 6 wilayah.

Dari Gambar 2 di atas dapat dilihat penyebaran jumlah penduduk di Kabupaten Lombok Tengah setiap Desa. Titik wilayah yang memiliki warna biru artinya wilayah tersebut memiliki jumlah penduduk terbanyak ada 2 wilayah yaitu, wilayah Batujai sebesar 17737 jiwa dan Kopang Rembiga sebanyak 17379 jiwa. Titik wilayah yang ditandai warna pink artinya wilayah hanya memiliki jumlah penduduk bekisar dari 1000-4000 jiwa ada 18 wilayah yang memiliki jumlah penduduk bekisar dari 1000-4000 jiwa. Titik wilayah yang berwarna kuning memiliki jumlah penduduk berkisar dari 4000-10000 jiwa terdapat 91 wilayah. Titik

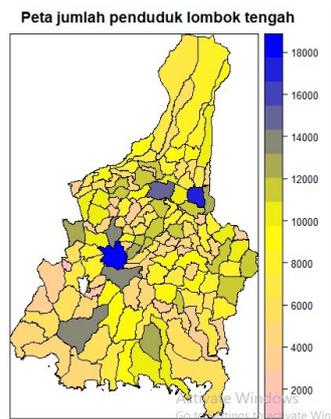


Figure 2. Jumlah Penduduk Kabupaten Lombok Tengah

wilayah yang berwarna kuning ke abu dan abu memiliki jumlah penduduk berkisar 10000-16000 jiwa ada 30 wilayah.

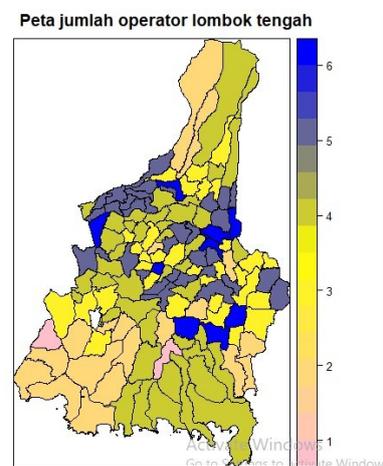


Figure 3. Jumlah Operator Layanan Kabupaten Lombok Tengah

Dari gambar 3 di atas dapat dilihat penyebaran jumlah operator layanan di Lombok Tengah. Titik wilayah yang memiliki warna biru artinya wilayah tersebut memiliki jumlah operator layanan terbanyak yaitu 6 operator layanan ada 10 wilayah yaitu, wilayah Marong, Kuta, Sengkerang, Kelurahan Praya, Darmaji, Semparu, Dasan Baru, Ubung, Montong Gamang dan Aik Darak. Titik wilayah yang ditandai warna pink artinya wilayah hanya memiliki 1 operator layanan ada 2 wilayah yaitu, wilayah Tumpak dan Montong Sapah. Titik wilayah yang berwarna kuning memiliki 2 dan 3 operator layanan terdapat 51 wilayah. Wilayah yang memiliki 2 operator layanan sebanyak 18 wilayah dan wilayah yang memiliki 3 operator layanan sebanyak 33 wilayah. Titik wilayah yang berwarna kuning ke abu dan abu memiliki 4 dan 5 operator layanan terdapat 76 wilayah yang memiliki 4 menara operator layanan sebanyak 45 wilayah dan wilayah yang memiliki 5 operator layanan sebanyak 31 wilayah.

Table 1. Statistik Deskriptif

Variabel	N	Minimum	Maksimum	Rata-rata	Simpangan Baku
Jumlah Menara Telepon (Y)	139	0	6	1,921	1,319
Jumlah Penduduk (X_1)	139	1750	17737	7600	3121
Jumlah Operator Layanan (X_2)	139	1	6	3,835	1139

Asumsi Multikolinearitas

Uji multikolinearitas bertujuan untuk menentukan apakah ada korelasi antara variabel prediktor dalam model regresi. VIF (*Variance Inflation Faktor*) dan toleransinya menunjukkan apakah multikolinearitas diuji atau tidak.

Table 2. Nilai VIF

Variabel	VIF
X_1	1,056388
X_2	1,056388

Berdasarkan tabel 2, terdapat nilai VIF > 10 , sehingga hal ini menunjukan tolak H_0 artinya, terjadi multikolinearitas pada data atau dapat diartikan bahwa terdapat hubungan antar variabel independen pada variabel jumlah penduduk (X_1) dan jumlah operator layanan (X_2).

Asumsi Normalitas

Uji normalitas digunakan untuk menentukan apakah residu data mengikuti pola distribusi normal. Uji *Anderson Darling* adalah metode untuk menguji normalitas. Hasil perhitungan *Anderson Darling* menunjukkan bahwa nilai signifikansi AD sebesar 0,3954 lebih besar dari $\alpha = 0,05$, yang menunjukkan bahwa residual pada data yang digunakan mengikuti pola distribusi normal.

Asumsi Independensi

Uji independensi digunakan untuk mengetahui apakah terdapat hubungan antara dua variabel dan dilakukan dengan pengujian Moran. Hasil uji Moran menunjukkan bahwa *p-value* sebesar 0,1354 lebih besar dari $\alpha = 0,05$, yang berarti bahwa setiap variabel-variabel tersebut tidak adanya hubungan atau ketergantungan antara variabel tersebut.

Heteroskedastisitas

Uji heteroskedastisitas, yang dapat dilakukan dengan pengujian *Breusch-Pagan*, digunakan untuk menentukan apakah data yang dikumpulkan homogen. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai *p-value* = 0,002009 dengan tingkat signifikansi $\alpha = 5\%$, maka keputusannya tolak H_0 yang artinya terjadi heteroskedastisitas spasial pada data.

3.2. Data Spasial

Uji Heterogenitas Spasial

Uji heterogenitas spasial adalah bagian terpenting dari regresi spasial. Uji *Breusch-Pagan* (BP) adalah pengujian statistik yang digunakan. Uji ini dilakukan dengan menggunakan residu kuadrat terhadap variabel independen. Menurut kriteria uji, jika nilai *p-value* kurang dari 0,05, maka data mengandung heterogenitas spasial, dan sebaliknya, nilai *p-value* lebih dari 0,05

menunjukkan bahwa tidak ada gejala heterogenitas spasial. Nilai BP $x^2_{(0,05;2)}$ menunjukkan bahwa $12,421 > 3,89$. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa data mengandung heterogenitas spasial, yang berarti bahwa data yang digunakan juga termasuk data spasial.

Autokorelasi Spasial

Nilai dari probabilitas atau *p-value Global Moran's Index* Jumlah Menara Telepon Seluler (Y) dan Jumlah Penduduk (X_1) lebih tinggi dari $\alpha = 0,05$, sehingga gagal tolak menunjukkan tidak terjadi autokorelasi spasial tidak signifikan antara lokasi. Sebaliknya, indikator Jumlah Operator Layanan (X_2) lebih kecil dari $\alpha = 0,05$, sehingga tolak H_0 yang menunjukkan bahwa ada autokorelasi spasial antara lokasi secara keseluruhan. *Global Moran's Index* untuk Jumlah Menara Telepon Seluler (Y), Jumlah Penduduk (X_1) dan Jumlah Operator Layanan (X_2) memiliki autokorelasi negatif dengan nilai moran's I mendekati -1, hal ini berarti bahwa lokasi yang memiliki nilai tinggi pada variabel tertentu kemungkinan besar akan berdekatan dengan tempat yang memiliki nilai rendah, di sisi lain, tempat yang memiliki nilai rendah lebih cenderung berada di dekat dengan tempat yang memiliki nilai tinggi.

3.3. Permodelan Geographically Weighted Regression

Nilai bandwidth yang dihasilkan pada kernel Gaussian fixed hanyalah satu nilai ideal. Metode CV (*Cross-Validation*) dapat menemukan nilai bandwidth (b) terbaik yang sama di setiap tempat. Hasil perhitungan menunjukkan nilai CV yang paling rendah, yaitu 9,803341. Parameter regresi untuk setiap provinsi diestimasi setelah menghitung b dan pembobot. Nilai sebaran dari penduga parameter disajikan di sini oleh penulis.

Table 3. Sebaran Estimasi Fixed Gaussian

Variabel	Min	Median	Max
Intercept	-0,9281	0,5863	0,9573
Jumlah Penduduk (X_1)	0,0001	0,0002	0,0003
Jumlah Operator Layanan (X_2)	-0,2785	-0,1084	0,1156

Tabel 3 menunjukan bahwa variabel jumlah penduduk (X_1) memiliki koefisien regresi yang selalu positif dengan rentang 0.00019 hingga 0.00035. Variabel jumlah operator layanan (X_2) memiliki nilai penduga positif dan negatif, dengan besar pengaruh -0.27856 hingga 0.11568.

Uji Kelayakan Model

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi validitas model dan memastikan apakah ada faktor geografis didalamnya. Kriteria pengambilan keputusan tolak H_0 jika $F_{hit} > F_{tabel}$ atau jika nilai *p value* $> 0,05$.

- H_0 : $\beta_k(u_i, v_i) = \beta_k, \quad k = 1, 2, \dots, 4$ (tidak ada perbedaan yang signifikan antara model regresi global dan model GWR)
- H_1 : $\beta_k(u_i, v_i) \neq \beta_k, \quad k = 1, 2, \dots, 4$ (ada perbedaan yang signifikan antara model regresi global dan model GWR)

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai pembobot menunjukkan bahwa $P\text{-value} > 0.05$ atau $0,2216 > 0,05$ maka H_0 gagal ditolak artinya pada peganalisisan dengan selang kepercayaan 0,05, tidak ada perbedaan yang signifikan antara model regresi OLS dan model GWR.

Pengujian Parsial Parameter Model GWR dan Pengelompokan Variabel

Pengujian parsial parameter bertujuan untuk mengevaluasi kontribusi relatif dari masing-masing parameter regresi pada tingkat spasial yang berbeda. Hal ini memungkinkan pemahaman yang lebih mendalam tentang bagaimana variabel independen berkontribusi secara lokal dalam menjelaskan variasi spasial fenomena yang diamati. Pengelompokan variabel dilakukan dalam upaya untuk mengidentifikasi variabel-variabel yang memiliki pengaruh secara signifikan terhadap jumlah menara telepon seluler di Kabupaten Lombok Tengah dan menjelaskan tentang signifikansi variabel untuk masing-masing desa.

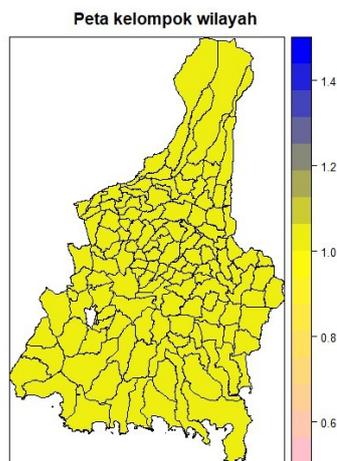


Figure 4. Peta Kelompok Desa Kabupaten Lombok Tengah Berdasarkan Faktor yang Signifikan

Berdasarkan tabel 5 dan gambar 4, menunjukkan bahwa desa dikelompokkan berdasarkan variabel yang signifikan dan tidak signifikan, yang berarti terbentuk tiga kelompok. Tabel variabel Jumlah Penduduk (X_1) signifikan pada 139 desa di Kabupaten Lombok Tengah dengan diberi warna kuning di peta kelompok wilayah. Berikut sampel model yang GWR yang memiliki signifikan pada variabel X_1 .

$$\hat{Y}_{\text{Mekar Sari}} = -1.45367479 + 7.06136X_1$$

Sedangkan desa yang signifikan terhadap variable Jumlah Operator Layanan (X_2) tidak ada satupun desa yang signifikan. Sementara desa yang signifikan terhadap variabel Jumlah Penduduk (X_1) dan Jumlah Operator Layanan (X_2) tidak ada satupun desa.

Pemilihan Model Terbaik

Pemilihan model terbaik antara regresi OLS dan model *Geographically Weighted Regression* (GWR) harus dilakukan untuk menentukan model mana yang paling cocok. Nilai AIC untuk masing-masing model digunakan untuk memilih model terbaik antara regresi OLS dan regresi *Geographically Weighted Regression* (GWR). Nilai AIC untuk regresi OLS adalah R^2 , dan SSE, sedangkan untuk regresi GWR adalah R^2 , dan SSE. Model terbaik memiliki nilai AIC minimum. Perbandingan berikut menunjukkan nilai AIC, R^2 , dan SSE untuk masing-masing model.

Table 4. Perbandingan Model Regresi OLS dan GWR

Model	AIC	R^2	SSE
Regresi OLS	416.7637	0.0358429	154.0601
Geographically Weighted Regression (GWR)	398.2308	0.4390725	134.6952

Berdasarkan tabel 4, *Geographically Weighted Regression* (GWR) adalah model yang lebih baik dari model regresi OLS karena memiliki nilai AIC dan SSE yang lebih rendah dibandingkan dengan model regresi OLS, dan model GWR juga memberikan nilai R^2 yang lebih tinggi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa model GWR lebih baik dari model regresi OLS.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa model regresi OLS sebagai berikut:

$$Y = 0.3912 + 0.0002X_1 - 0.1155X_2$$

Artinya secara global variabel jumlah penduduk dan jumlah operator layanan dapat mempengaruhi jumlah menara telepon seluler. Uji kesesuaian model GWR, menunjukkan bahwa ada perbedaan antara model regresi OLS dan model GWR. Hasil pemodelan dengan GWR untuk masing-masing desa berbeda, menciptakan tiga kelompok berdasarkan variabel yang signifikan dan tidak signifikan. Kelompok pertama yaitu, variabel jumlah penduduk (X_1) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap jumlah menara telepon seluler (Y) di semua desa. Sedangkan kelompok kedua yaitu, pengaruh jumlah penduduk (X_1) dan jumlah operator layanan (X_2) terhadap jumlah menara telepon seluler (Y) tidak signifikan di semua desa. Sementara kelompok tiga pengaruh jumlah operator layanan (X_2) terhadap jumlah menara telepon seluler (Y) tidak signifikan di semua desa.

Table 5. Variabel yang Signifikan terhadap Kelurahan/Desa di Kabupaten Lombok Tengah

No	Variabel	Signifikan
1	X_1	Teruwai, Tanakawu, Sengkol, Sukadana, Belilando, Pengembur, Kidang, Gapura, Mertak, Bangket perak, Tumpak, Segala Anyar, Semoyang, Kateng, Landah, Kawo, Marong, Tanak Rarang, Kuta, Bonder, Prabu, Kertara, Setanggor, Ganti, Sengkereang, Mujur, Pejanggik, Penujak, Lajut, Sukaraja, Beleka, Teduh, Pelambik, Darek, Kelurahan Sasake, Kelebu, Lekor, Batunyala, Kelurahan Semayan, Dakung, Langko, Ugga, Kelurahan Gerantung, Kelurahan Prapen, Batujai, Kelurahan Panjisari, Ranggagat, Kelurahan Jontlak, Loangmaka, Beraim, Kelurahan Tiwugalih, Saba, Prai Meke, Setuta, Kelurahan Praya, Kelurahan Leneng, Selebung Rembiga, Jurang Jaler, Sukarara, Jango, Kelurahan Renteng, Pengadang, Kerembong, Janapria, Kelurahan Gerunung, Batutulis, Bakan, Aik Darek, Mas-Mas, Tampak Sirinning, Selebung, Tanak Beak, Aik Bukaq, Teratak, Pemepek, Wajageseng, Setiling, Lantan, Labulia, Bunutbaok, Nyerot, Puyung, Kelurahan Gonjak, Gemel, Durian, Pendem, Damaji, Mertak Tombok, Monggas, Semparu, Aik Mual, Bunkate, Jelantik, Dasan Baru, Montongterep, Jago, Ubung, Muncan, Perina, Mekar Damai, Bonjeruk, Pengejak, Kopang Rembiga, Montong Gamang, Menemeng, Bujak, Pagutan, Barabali, Sisik, Pringgarata, Taman Indah, Bilebante, Arjanka, Mantang, Bagu, Sepakek, Peresak, Murbaya, Beber, Bebuak, Mekar Bersatu, Sintung, Lendang Are, Mekar Sari, Pengingat, Rambitan, Selong Belanak, Banyu Urip, Montong Ajan, Batu Jankih, Pandan Indah, Mangkung, Kabul, Motong Sepah, Serage, Aik Bual, Aik Berik, Karang Sidemen.
2	X_2	Tidak Signifikan
3	X_1 dan X_2	Tidak Signifikan

References

- [1] B. A. Pradana, A. Pancasilawati, and M. Ahyar, "Peran dinas pekerjaan umum dan penataan ruang kota samarinda terhadap penempatan menara telekomunikasi dalam tinjauan siyasah syar'iyah," *QONUN: Jurnal Hukum Islam dan Perundang-undangan*, vol. 6, no. 2, pp. 82–98, 2022.
- [2] I. Asaad and A. Rahman, "Pengembangan kota parepare sebagai kota destinasi wisata habibie dengan konsep sustainable smart tourism development of parepare city as the habibie tourist destination city with the concept of sustainable smart tourism," *Pekommas*, vol. 6, no. 2, 2021.
- [3] E. Pujihartanti, "Analisis kelayakan investasi pembangunan menara bts (base transceiver station) oleh provider penyedia menara (survey di desa lembur awi, kec pacet, kab bandung)," *J. Pajak Bisnis*, vol. 3, no. 1, 2022.
- [4] J. M. Polgan and et al., "Analisis dampak implementasi teknologi 5g terhadap infrastruktur jaringan di indonesia," vol. 13, no. September, 2024.
- [5] S. Nurhidayanti, "Analisis pengaruh pembangunan infrastruktur telekomunikasi terhadap pertumbuhan ekonomi di indonesia," *J. Ekon. Kuantitatif Terap.*, vol. 16, no. 1, 2023.
- [6] Z. I. G. N. A. Zainuddin, S. Sutrisno, and Krisnawan, "Analisis pengaruh perubahan tata ruang kota terhadap perancangan jaringan telekomunikasi nirkabel," *J. Teknol. Inf. dan Komun.*, vol. 11, no. 2, 2020.
- [7] A. Winarti, "Evaluasi kebijakan pembangunan menara telekomunikasi di kota semarang," *J. Tata Kota dan Drh.*, vol. 14, no. 1, 2022.
- [8] M. M. A. Asaad and Rahman, "Penataan menara telekomunikasi berdasarkan potensi gangguan yang ditimbulkan," *J. Pengemb. Kota*, vol. 9, no. 1, 2021.
- [9] F. Irzy, "Pengaruh pdrb, tingkat pendidikan, kepadatan penduduk, dan jumlah industri terhadap kualitas lingkungan hidup di lima provinsi pulau kalimantan tahun 2013-2022," 2023.
- [10] R. S. Permana, Kismiantini, and E. P. Setiawana, "Pemodelan indeks pembangunan manusia di provinsi jawa tengah tahun 2022 menggunakan model regresi spasial dengan pembobot queen contiguity dan k-nearest neighbor," vol. 1, 2023. [Online]. Available: <https://journal.student.uny.ac.id/index.php/jssd>
- [11] N. A. Bakri, S. Annas, and M. K. Aidid, "Pendekatan geographically weighted regression (gwr) untuk menganalisis hubungan pdrb sektor pertanian, kehutanan, dan perikanan dengan faktor pencemaran lingkungan di jawa timur," *VARIANSI J. Stat. Its Appl. Teach. Res.*, vol. 6, no. 1, 2024.
- [12] D. S. Wicaksono, P. A. Kusumasari, H. M. Fajar, R. Fajritia, I. G. A. P. Anggraini, and B. Budiasih, "Implementasi geographically weighted regression (gwr) pada determinasi faktor produksi beras di indonesia tahun 2021," *Semin. Nas. Off. Stat.*, vol. 2023, no. 1, 2023.
- [13] H. Harmes, B. Juanda, E. Rustiadi, and B. Baru, "Pengaruh lahan kosong terhadap kemiskinan di kota bengkulu," *Tataloka*, vol. 24, no. 4, 2022.
- [14] A. B. T. Pratama, B. Haryanto, and Hariyanto, "Analisis spasial persebaran menara bts di kota bandung menggunakan geographically weighted regression," *Geospasial*, vol. 18, no. 1, 2021.
- [15] S. I. S. Rahayu, H. Winarso, and Sitanggang, "Penerapan geographically weighted regression untuk analisis kebutuhan menara telekomunikasi di kabupaten bogor," *J. Perenc. Wil. dan Kota*, vol. 33, no. 2, 2022.
- [16] A. D. Adyatama, Solimun, S. A. Efendi, Nurjannah, and M. B. T. Mitakda, "Estimated path analysis parameters using weighted least square to overcome heteroskedasticity at various sample sizes," *J. Stat. Appl. Probab.*, vol. 12, no. 2, 2023.