

Pemodelan *Geographically Weighted Regression* dengan Fungsi Pembobot *Adaptive Bisquare Kernel* Terhadap Indeks Pembangunan Manusia di Indonesia Tahun 2024

Tri Lika Wulandari, Dewi Murni

Departemen Matematika, Universitas Negeri Padang

Article Info

Article history:

Received July, 25 2025

Revised August 6, 2025

Accepted September 15, 2025

Keywords:

Kernel's *Adaptive Bisquare*
GWR

Human Development Index

Kata Kunci:

Adaptive Bisquare Kernel
GWR

Indeks Pembangunan Manusia

ABSTRACT

Human Development Index describe success effort increase quality life man in a region. In general, HDI Indonesia continues to increase experience progress during 2020 to 2024. However, Indonesia's HDI achievements every year province is very diverse and not accompanied by equalization increase HDI in each province. The goals of this research to construct a GWR model and categorize HDI Indonesia in 2024 as a geospatial information basis for development planning and evaluation. Data analysis used is *Geographically Weighted Regression*. The procedure for data analysis, in this research are a multiple regression model, perform GWR modeling, parameter estimation, parameter testing and interpretation the output. The output of this study is GWR model for each province Indonesia is different. There 7 categories grouping use *adaptive bisquare* according to significant variable affect the percentage of HDI in Indonesia.

ABSTRAK

Indeks Pembangunan Manusia (IPM) menandakan keberhasilan upaya meningkatkan kualitas hidup manusia disuatu wilayah. Secara umum, IPM di Indonesia terus mengalami kemajuan selama tahun 2020 hingga 2024. Tetapi, pencapaian IPM di Indonesia setiap provinsi sangat beragam dan tidak disertai pemerataan peningkatan IPM disetiap provinsi. Penelitian ini bertujuan membentuk model GWR dan pengelompokkan IPM Indonesia tahun 2024 sebagai dasar informasi *geospasial* bagi perencanaan dan evaluasi pembangunan. Analisis data yang dipakai adalah *Geographically Weighted Regression* (GWR). Adapun tahapan analisis data penelitian ini membentuk model regresi linear berganda, melakukan pemodelan GWR, pendugaan parameter, pengujian parameter dan menginterpretasikan hasil. Hasil penelitian ini adalah model GWR untuk semua Provinsi di Indonesia berbeda. Serta terdapat 7 kategori pengelompokkan menggunakan *adaptive bisquare* berdasarkan variabel signifikan mempengaruhi persentase IPM.

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.



Penulis Korespondensi:

Tri Lika Wulandari

Departemen Matematika, Universitas Negeri Padang,

Email: wulandaritrika@fmipa.ac.id

1. PENDAHULUAN

Pembangunan pada dasarnya menunjukkan perubahan yang terjadi dalam kehidupan sosial, budaya dan lingkungan masyarakat. Indeks Pembangunan Manusia adalah indikator penting dalam menggambarkan keberhasilan dalam meningkatkan kualitas hidup manusia disuatu wilayah atau negara [1]. Keiga aspek seperti pendidikan, kesehatan dan ekonomi menjadi kebutuhan dasar yang harus dipenuhi individu agar dapat mengembangkan potensinya. Syarat penting dalam pembangunan yaitu adanya pemerataan. Dengan pemerataan, hasil pembangunan dapat dinikmati oleh seluruh masyarakat. Untuk menilai sejauh mana pembangunan manusia telah berlangsung, biasanya dilihat dari dua hal, yaitu kecepatan dan status pencapaian [2].

Pembangunan manusia di Indonesia secara umum terus membaik. Dimana pada tahun 2020 IPM Indonesia berada pada 72,81% terus meningkat hingga tahun 2024 berada pada 75,02% (Badan Pusat Statistik, 2024). Berdasarkan status pembangunan pada Badan Pusat Statistik tahun 2024 diketahui bahwa jumlah provinsi berstatus “sangat tinggi” ($IPM \geq 80$) terdapat 2 provinsi, berstatus “tinggi” ($70 \leq IPM < 80$) terdapat 30 provinsi, berstatus “sedang” ($60 \leq IPM < 70$) terdapat 5 provinsi dan berstatus “rendah” ($IPM < 60$) terdapat 1. Status IPM pada masing-masing Provinsi di Indonesia dapat diamati melalui Gambar 1. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa status capaian IPM setiap provinsi di Indonesia tahun 2024 beragam akan tetapi tidak disertai dengan pemerataan IPM di setiap provinsi nya. Hal ini menandakan bahwa pendidikan, kesehatan dan ekonomi di Indonesia belum tersebar merata dan cenderung hanya berkembang di beberapa daerah saja. Perbedaan ini membuat ketiga aspek tersebut menjadi masalah spasial, sebab kondisi geografis suatu wilayah ikut mempengaruhi dan akhirnya ber[engaruh terhadap nilai IPM tiap provinsi.

Dengan demikian, tantangan besar pembangunan manusia di Indonesia terletak pada kesenjangan antarprovinsi dan ketidakmerataan peningkatan IPM. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan pembangunan daerah yang lebih terarah agar kualitas hidup masyarakat bisa lebih merata. Analisis yang digunakan harus mempertimbangkan kondisi lokal tiap wilayah, sehingga hasilnya beragam yang disebut heterogenitas spasial. Dengan mempertimbangkan adanya pengaruh spasial yang signifikan pada IPM di Indonesia, maka metode *Geographically Weighted Regression* (GWR) dipilih sebagai pendekatan analisis.

Model GWR merupakan model regresi dengan pembobotan geografis yang digunakan untuk menelaah heterogenitas spasial. Pemilihan metode GWR dilatarbelakangi oleh regresi linear berganda (OLS) yang tidak mampu mempresentasikan variasi spasial dalam hubungan antara variabel depnden dan independen, sehingga model hasil estimasi yang diperoleh akan bias atau tidak akurat. Oleh karena itu, GWR memungkinkan koefisien regresi berbeda-beda untuk setiap lokasi, sehingga lebih cocok untuk menganalisis fenomena spasial seperti pembangunan daerah, kemiskinan atau IPM antar provinsi di Indonesia. Dalam pemodelan GWR, matriks pembobot ditetapkan dengan sebuah ukuran yaitu *bandwidth* [3].

Fungsi pembobot yang dapat digunakan ada dua yaitu *fixed* dan *adaptive* [4]. Akan tetapi, penelitian ini menggunakan pembobot *adaptive bisquare* kernel, dimana *bandwidth* optimal setiap lokasi tidak sama. Informasi *geospasial* atau peta dapat digunakan untuk membantu sektor publik dalam merencanakan, melaksanakan dan mengevaluasi pembangunan [5]. Pada penelitian ini akan menyajikan IPM beserta fakror-fakror yang mempengaruhi nya dalam bentuk pemetaan. Sehingga judul penelitian ini adalah “Pemodelan *Geographically Weighted Regression* dengan Fungsi Pembobot *Adaptive Bisquare* Kernel Terhadap Indeks Pembangunan Manusia di Indonesia Tahun 2024”.

2. METODE

Penelitian ini dikategorikan sebagai penelitian terapan yang memiliki tujuan utama untuk memberikan solusi terhadap permasalahan empiris. Data yang digunakan merupakan data sekunder, yaitu data yang telah tersedia dikumpulkan dari sumber sebelumnya. Unit analisis penelitian mencakup seluruh Provinsi di Indonesia, dengan variabel yang digunakan meliputi indeks pembangunan manusia, umur harapan hidup, rata-rata lama sekolah, pendapatan riil perkapita, persentase penduduk miskin dan tingkat pengangguran terbuka. Sumber data didapat dari Badan

Pusat Statistik Nasional. Analisis data dilakukan melalui pendekatan metode *Geographically Weighted Regression* (GWR). Langkah-langkah analisis nya:

1. Analisis deskriptif data
2. Analisis model regresi linear berganda [7].
 - a) Melakukan uji asumsi klasik yaitu:
 - i. Uji homoskedastisitas menggunakan uji white,
 - ii. Uji residual berdistribusi normal menggunakan uji *Kolmogorov Smirnov*,
 - iii. Uji multikolinearitas [8].
 - b) Menaksir parameter model regresi linear berganda dengan metode *Ordinary Least Square* (OLS).
 - c) Melakukan Uji F dan Uji T
3. Melakukan pemodelan *Geographically Weighted Regression*.

Adapun langkah-langkah:

 - a) Melakukan pengujian heterogenitas spasial dengan *Breusch Pagan*,
 - b) Menentukan *latitude* dan *longitude* antar provinsi dan menghitung nilai *euclidean* antar lokasi ke-*i* berdasarkan *latitude* dan *longitude* wilayah,
 - c) Menentukan *bandwidth* [9]
 - d) Menghitung matriks pembobot [10]
4. Menaksir parameter model GWR dengan metode *Weighted Least Square* (WLS)
5. Pengujian parameter model GWR melalui Uji F dan Uji T
6. Interpretasi hasil analisis

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Deskripsi Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa Indeks Pembangunan Manusia pada seluruh provinsi di Indonesia tahun 2024, yang bersumber dari Badan Pusat Statistik Nasional. Variabel independent meliputi umur harapan hidup (X_1), rata-rata lama sekolah (X_2), pendapatan riil perkapita (X_3), persentase penduduk miskin (X_4) dan tingkat pengangguran terbuka (X_5) serta koordinat lintang dan bujur pada 38 Provinsi di Indonesia. Gambar 1 memperlihatkan persentase indeks pembangunan manusia setiap provinsi di Indonesia. Berdasarkan Gambar 1, terlihat bahwa dari 38 provinsi di Indonesia capaian indeks Pembangunan manusia tertinggi terdapat di Provinsi DKI Jakarta dan terendah berada di Provinsi Papua Pegunungan.

3.2. Analisis Data

Analisis data pada pembentukan model capaian IPM dilakukan menggunakan metode *Geographically Weighted Regression*. Tahap awal dalam pembentukan model GWR diawali dengan analisis regresi linear berganda menggunakan metode OLS. Sebelum itu, pengujian asumsi klasik dilakukan untuk memastikan model regresi yang diperoleh memenuhi persyaratan homogenitas residual berdistribusi normal dan bebas dari multikolinearitas. Setelah uji asumsi klasik terpenuhi, diperoleh model regresi linear berganda yang selanjutnya diuji signifikansinya melalui Uji F dan Uji T sebagai berikut:

$$\hat{Y} = -159,589 - 0,678X_1 + 2,290X_2 + 55,019X_3 - 0,018X_4 - 0,177X_5$$

Setelah melakukan pemodelan regresi linear berganda dengan metode OLS, tahap selanjutnya adalah membentuk model menggunakan metode *Geographically Weighted Regression* (GWR). Namun, sebelum diolah menggunakan model GWR maka harus di uji kelayakan nya terlebih dahulu dengan uji heterogenitas spasial.

3.2.1. Uji Heterogenitas Spasial

Uji heterogenitas spasial digunakan mengecek apakah data memiliki pengaruh spasial, sehingga layak diolah menggunakan metode GWR. Pada penelitian ini, uji heterogenitas spasial dilakukan dengan uji *Breusch Pagan*. Rumus,

$$BP = \frac{1}{2} f^T Z (Z^T Z)^{-1} f + \left(\frac{1}{T} \right) \left(\frac{e^T W e}{\sigma^2} \right)^2 \quad (1)$$

Dimana, elemen vector f adalah $f_1 = \left(\frac{e_i^2}{\sigma^2} - 1 \right)$ [11].

Keterangan:

BP : nilai uji *breusch pagan*

f : sebagai vector pengetahuan pada $f_i = \left(\frac{e_i^2}{\sigma^2} - 1 \right)$

e_i : kesalahan (error) untuk pengamatan ke- i

e_i^2 : kuadrat dari kesalahan (error) pada pengamatan ke- i

σ^2 : ragam residual dari (e_i)

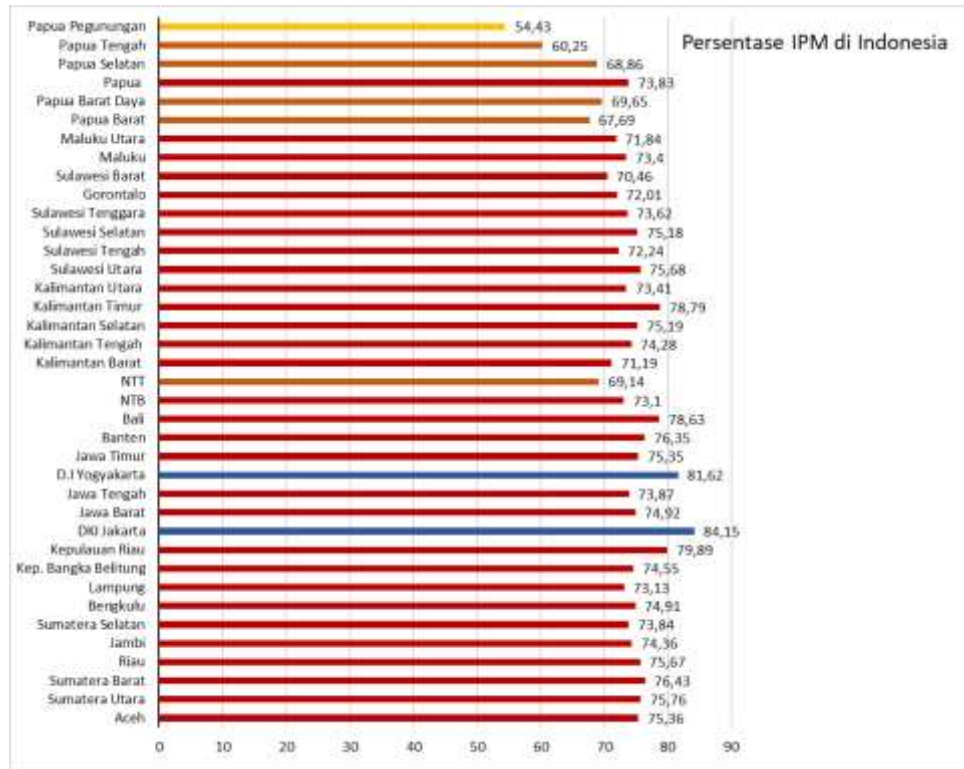
Z : matriks X berukuran $n \times (p + 1)$

i : 1, 2, ..., n

Kriteria uji:

Jika $BP > \chi_p^2$ atau $P_{value} < \alpha = 0,05$ maka tolak H_0 menunjukkan adanya heterogenitas spasial

Berdasarkan hasil uji *Breusch-Pagan* didapat nilai $BP = 15,497 > \chi_{(5,0.05)}^2 = 11,070$, sehingga H_0 ditolak. Hal ini menunjukkan adanya heterogenitas spasial atau perbedaan ragam antarprovinsi di Indonesia.



Gambar 1. Persentase Indeks Pembangunan Manusia Setiap Provinsi di Indonesia

3.2.2. Pemilihan *Bandwidth*

Sebelum menentukan nilai *bandwidth* langkah yang dilakukan yaitu menghitung jarak antar lokasi pengamatan. Jarak tersebut diperoleh menggunakan jarak *euclidean* berdasarkan koordinat garis *latitude* (u_1, v_1) dan *longitude* (u_2, v_2) dari setiap Provinsi di Indonesia [12]. Dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan:

d_{ij} : jarak *euclidean* antara lokasi pengamatan- i dan lokasi pengamatan- j

u_i : koordinat *longitude* di lokasi pengamatan ke- i

u_j : koordinat *longitude* di lokasi pengamatan ke- j

v_i : koordinat *latitude* di lokasi pengamatan ke- i

v_j : koordinat *latitude* di lokasi pengamatan ke- j

Tabel 1. *Bandwidth* Optimum

Provinsi	<i>Bisquare</i> (h_i)
Aceh	8439570,1
Sumatera Utara	8645219,8
Sumatera Barat	284596,1
Riau	8997261,6
Jambi	284389,9
Sumatera Selatan	237716,6
Bengkulu	377775,7
Lampung	273120,2
Kepulauan Bangka Belitung	238701,2
Kepulauan Riau	9030635,2
DKI Jakarta	352854,7
Jawa Barat	423142,7
Jawa Tengah	330226,4
D.I Yogyakarta	324516,2
Jawa Timur	326686,8
Banten	311936,6
Bali	483417,5
Nusa Tenggara Barat	399595,6
Nusa Tenggara Timur	460362,5
Kalimantan Barat	412178,7
Kalimantan Tengah	362337,5
Kalimantan Selatan	316213,3
Kalimantan Timur	307666,5
Kalimantan Utara	8729904,9
Sulawesi Utara	8887102,5
Sulawesi Tengah	414515,1
Sulawesi Selatan	348872,8
Sulawesi Tenggara	272673,7
Gorontalo	8984545,9
Sulawesi Barat	281803,3
Maluku	235074,1
Maluku Utara	8959937,0
Papua Barat	316199,6
Papua Barat Daya	355424,2
Papua	237701,4
Papua Selatan	369001,4
Papua Tengah	286396,5
Papua Pegunungan	294791,4

Berikut contoh perhitungan jarak *euclidean* antara Provinsi Aceh (u_1, v_1) dengan Provinsi Sumatera Barat (u_3, v_3) dinyatakan dengan symbol ($d_{1,3}$) .

$$d_{(1,3)} = \sqrt{(613776,96 - 9895183,03)^2 + (757442,22 - 651671,57)^2}$$

$$d_{(1,3)} = \sqrt{86155686066634,2225} = 9282008,73015288$$

Setelah memperoleh jarak antar lokasi amatan (d_{ij}) selanjutnya mencari nilai *bandwidth* optimum dengan meminimumkan nilai CV.

$$CV(h) = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{\neq i}(h))^2 \quad (3)$$

Keterangan:

CV : *cross validation*

h : *bandwidth*

n : banyaknya pengamatan

y_i : pengamatan ke- i

$\hat{y}_{\neq 1}(h)$: nilai taksiran y_i ketika pengamatan pada lokasi (u_i, v_i) dikeluarkan dari proses estimasi.

Penentuan *bandwidth* optimum dilakukan dengan bantuan aplikasi Rstudio. Adapun hasil perhitungan *bandwidth* optimum berdasarkan fungsi pembobot *adaptive bisquare* disajikan pada Tabel 1.

Langkah selanjutnya yaitu menghitung matriks pembobot pada masing-masing provinsi. Matriks pembobot $W(u_i, v_i)$ tiap-tiap lokasi pengamatan diperoleh dengan mensubstitusikan *euclidean* dan *bandwidth* ke rumus fungsi pembobot *adaptive bisquare*, dan berlaku untuk semua provinsi.

3.2.3. Pendugaan Parameter Model GWR

Berikut hasil estimasi parameter pada model GWR

Tabel 2. Penduga Parameter Model GWR		
Variabel	Bisquare	
	Minimum	Maksimum
X_0	-58625,707755	12829,852909
X_1	-99876,322346	235072,090358
X_2	-200764,417852	107785,805722
X_3	-6750,616753	24361,789512
X_4	-3109,614185	64609,018883
X_5	-62883,077707	135235,794840

3.2.4. Pengujian Parameter Model GWR Secara Simultan/ Uji F

Pengambilan keputusan dalam pengujian model GWR dengan Uji F dilakukan dengan tolak H_0 apabila $F_{hitung} > F_{(\alpha; df_1, df_2)}$, menunjukkan adanya perbedaan antara model OLS dan GWR. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh bahwa nilai $F_{hitung} = 13,531975 > F_{tabel} = 1,816267$ sehingga tolak H_0 maka model regresi OLS dan GWR terbukti memiliki perbedaan signifikan serta model GWR lebih sesuai untuk digunakan.

3.2.5. Pengujian Parameter Model GWR Secara Parsial/Uji T

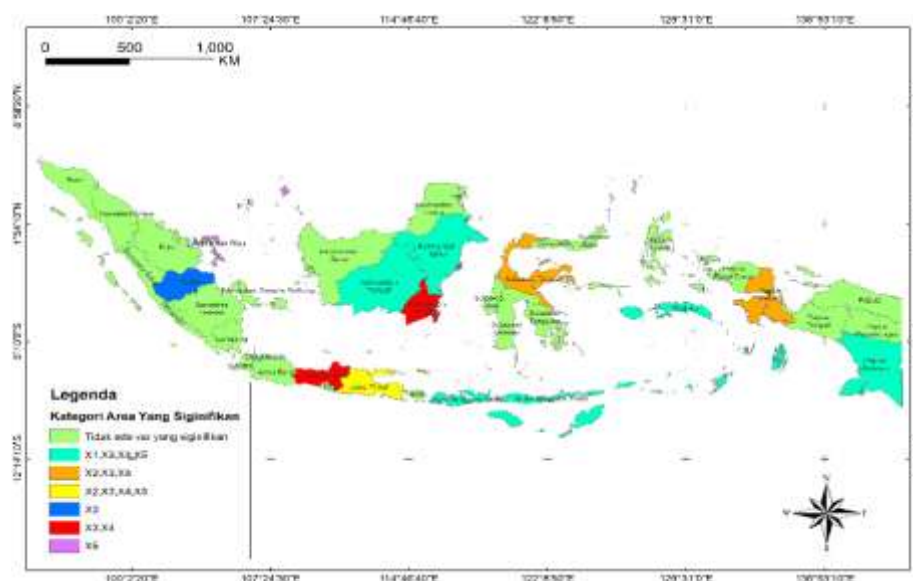
Uji T bertujuan mengidentifikasi parameter yang signifikan mempengaruhi capaian IPM setiap Provinsi di Indonesia. Dengan ketentuan yaitu tolak H_0 apabila nilai *statistik uji t* $> t_{(0,025,32)} = 2,03693$. Hal ini berarti variabel yang memenuhi kriteria tersebut memiliki pengaruh signifikan dalam model.

3.2.6. Menginterpretasikan dan Menyimpulkan Hasil yang Diperoleh

Model GWR yang dibangun dengan fungsi pembobot *adaptive bisquare* kernel menghasilkan parameter dengan sifat lokal pada masing-masing lokasi. Pemodelan GWR pada Provinsi DKI Jakarta ditunjukkan sebagai:

$$\hat{Y}_{DKI \text{ Jakarta}} = 235072,0903 X_1 + 19591,0683 X_3 + 26921,97429 X_4 + 135235,794 X_5$$

Model GWR yang terbentuk di setiap provinsi berbeda, tergantung pada nilai koefisien regresi serta variabel independent yang berpengaruh signifikan terhadap IPM. Berdasarkan fungsi pembobot *adaptive bisquare* kernel didapat 7 kelompok variabel yang signifikan mempengaruhi setiap Provinsi di Indonesia. Pada Gambar 4 disajikan peta tematik yang menunjukkan variabel independent yang berpengaruh signifikan pada capaian IPM di seluruh Provinsi di Indonesia.



Gambar 2. Klasifikasi Provinsi Berdasarkan Variabel yang Signifikan dalam Model GWR

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

1. Pemodelan menggunakan GWR menghasilkan model yang bervariasi pada 38 Provinsi di Indonesia. Sebagai ilustrasi, berikut ditunjukkan salah satu model GWR dengan pembobot *adaptive bisquare* kernel pada Provinsi DKI Jakarta.

$$\hat{Y}_{DKI \text{ Jakarta}} = 235072,0903 X_1 + 19591,0683 X_3 + 26921,97429 X_4 + 135235,794 X_5$$

2. Terdapat tujuh kategori klasifikasi provinsi di Indonesia berdasarkan variabel-variabel yang berpengaruh signifikan terhadap persentase IPM dengan fungsi pembobot *adaptive bisquare* kernel.

REFERENSI

- [1] Badan Pusat Statistik, "BPS Indeks Pembangunan Manusia, Indonesia tahun 2024," *Badan Pus. Stat.*, 2024.
- [2] M. Kuncoro, *Ekonomi Pembangunan: Teori, Masalah dan Kebijakan*. Yogyakarta: Universitas Michigan, 2010.
- [3] Y. Leung and C. L. Mei, "Statistical tests for spatial nonstationarity based on the geographically weighted regression model," *Environ. Plan. A*, vol. 32, no. 1, pp. 9–32, 2000, doi: 10.1068/a3162.
- [4] A. R. Tizona, "Pemodelan Geographically Weighted Regression (GWR) Dengan Fungsi Pembobotan Adaptive Kerne; Bisquare Untuk Angka Kesakitan Demam Berdarah Di Kalimantan Timur Tahun 2015," 2017.
- [5] Indonesian Geospatial Information Agency (BIG), "Pedoman Teknis Pemetaan Wilayah Administrasi, 2018," 2018.
- [6] Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitas, Kualitatif, dan R&D*. Alfabet, CV Bandung, 2016.
- [7] B. Nugraha, *Pengembangan Uji Statistik: Implementasi Metode Regresi Linier Berganda dengan Pertimbangan Uji Asumsi Klasik*. Pradina Pustaka, 2022.
- [8] N. R. dan S. H. Draper, *Analisis Regresi Terapan*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 1992.
- [9] R. E. . Caraka and H. Yasin, "Geographically Weighted Regression (GWR) sebuah pendekatan regresi geografis. spasial data panel," 2017.
- [10] T. Nakaya, "Geographically weighted Poisson regression for disease association mapping," *Stat. Med.*, vol. 24, no. 17, pp. 2695–2717, Sep. 2005, doi: 10.1002/sim.2129.
- [11] C. Brunson, *Geographically Weighted Regression as a Statistical Model*. England, 2000.
- [12] C. Brunson, "Geographically weighted regression with a non-Euclidean distance metric: A case study using hedonic house price data," *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, vol. 28, no. 4, pp. 660–681, Apr. 2002, doi: 10.1080/13658816.2013.865739.