

Pemodelan Geographically Weighted Regression Dengan Pembobot Adaptive Gaussian Kernel Pada PDRB di Indonesia

Frangly Elviano Tangka¹⁾, Djoni Hatidja^{2*)}, Winsy Christo Deilan Weku³⁾

^{1,2,3)}Department of Mathematics Sam Ratulangi University Manado, Indonesia

*Corresponding author: dhatidja@unsrat.ac.id

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini yaitu menentukan peubah-peubah yang mempengaruhi Produk Domestik Regional Bruto di Indonesia Tahun 2022 menggunakan *Geographically Weighted Regression* (GWR) dengan fungsi pembobot kernel *Adaptive Gaussian*. Data yang digunakan pada penelitian ini menggunakan data sekunder yang diambil dari website Badan Pusat Statistik pusat. Peubah-peubah yang digunakan, yaitu produk domestik regional bruto dari 34 provinsi di Indonesia (Y, dalam milyar rupiah), tingkat partisipasi angkatan kerja (X₁, dalam %), investasi penanaman modal asing (X₂, dalam juta dollar), tingkat pengangguran terbuka (X₃, dalam %) dan indeks pembangunan manusia (X₄, dalam %). Data dianalisis menggunakan GWR dengan fungsi pembobot kernel adaptive gaussian. PDRB di semua Propinsi di Pulau Sumatera (11 Propinsi), Propinsi DKI Jakarta, Propinsi Banten, dan Propinsi Kalimantan Barat dipengaruhi oleh investasi penanaman modal asing (X₂) dan indeks pembangunan manusia (X₄). Sedangkan PDRB di 19 Propinsi lainnya hanya dipengaruhi oleh investasi penanaman modal asing (X₂). Model GWR dengan fungsi pembobot kernel *adaptive gaussian* yang terbentuk berbeda-beda untuk setiap provinsi di Indonesia.

Kata kunci: *Adaptive gaussian kernel*; GWR; produk domestik regional bruto

Geographically Weighted Regression Modeling with Adaptive Gaussian Kernel Weighting on GRDP in Indonesia

ABSTRACT

The purpose of this study is to determine the variables that affect Gross Regional Domestic Product (GRDP) in Indonesia in 2022 using Geographically Weighted Regression (GWR) with Adaptive Gaussian kernel weighting function. The data used in this study uses secondary data taken from the website of the Central Bureau of Statistics. The variables used are gross regional domestic product of 34 provinces in Indonesia (Y, in billion rupiah), labor force participation rate (X₁, in %), foreign investment (X₂, in million dollars), open unemployment rate (X₃, in %) and human development index (X₄, in %). Data were analyzed using GWR with adaptive gaussian kernel weighting function. GRDP in all provinces on the island of Sumatra (11 provinces), DKI Jakarta province, Banten province, and West Kalimantan province are influenced by foreign investment (X₂) and human development index (X₄). Meanwhile, GRDP in the other 19 provinces is only influenced by foreign investment (X₂). GWR model with adaptive gaussian kernel weighting function is formed differently for each province in Indonesia.

Keywords: Adaptive gaussian kernel; gross regional domestic product; GWR

(Article History: Received 13-12-2023; Accepted 30-04-2024; Published 11-06-2024)

PENDAHULUAN

Analisis regresi adalah suatu metode statistika yang bertujuan untuk menganalisis hubungan antara peubah dependen dan peubah independen. Biasanya, analisis regresi digunakan untuk mengolah data dengan peubah respons berupa data kontinu (Agustina *et al.*, 2015). Pendekatan analisis regresi telah sering digunakan dalam melakukan analisis pada PDRB di Indonesia namun masih bersifat global dan diberlakukan pada seluruh lokasi yang diamati tanpa melibatkan letak geografis berdasarkan garis bujur dan lintang bumi. Menurut (Fotheringham *et al.*, 2002) *Geographically Weighted Regression* (GWR) merupakan metode pengembangan alternatif untuk analisis lokal hubungan dalam rangkaian data multivariat untuk menganalisis heterogenitas spasial. Fungsi Kernel adaptif memanfaatkan bandwidth yang berbeda untuk setiap titik pengamatan, serta memiliki kemampuan untuk menyesuaikan dengan variabilitas kondisi di lokasi pengamatan tersebut. Beberapa penelitian mengenai GWR sudah dilakukan diantaranya: model spasial produksi padi di Kecamatan Ranoyapo (Mamarimbing, 2022); tingkat pengangguran terbuka di Indonesia (Ramadayani *et al.*, 2022); tingkat pengangguran terbuka di Kabupaten Demak (Vebiriyana *et al.*, 2015); model spasial harga lahan di Kota Manado, Propinsi Sulawesi Utara (Weku *et al.*, 2022); perbandingan fungsi pembobot kernel pada model GWR dengan fungsi pembobot *adaptive kernel gaussian*, *Bi-square* untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi indeks pembangunan manusia di Sulawesi Selatan Tahun 2021 (Chaerani, 2023; Adatunaung *et al.*, 2023; Lutfiani *et al.*, 2019). Penelitian-penelitian lain yang menggunakan GWR dengan fungsi pembobot kernel gaussian yaitu: (Widyaningsi & Fitrianingrum, 2022) tentang PDRB di pulau Jawa; (Tanadjaja *et al.*, 2017) tentang angka harapan hidup di Propinsi Papua

Penelitian selanjutnya mengenai pemodelan PDRB menggunakan GWR dengan fungsi fungsi pembobot kernel gaussian dilakukan oleh (Herbiansyah *et al.*, 2022). Peubah-peubah yang digunakan yaitu: upah minimum, investasi penanaman modal luar negeri dan kepadatan penduduk.

Seajuh ini belum ditemukan penelitian tentang pemodelan PDRB di Indonesia menggunakan fungsi pembobot kernel *adaptive gaussian*. Oleh karena itu, dirasa perlu untuk mengeksplorasi lebih lanjut pemodelan GWR agar menghasilkan rekomendasi kebijakan yang lebih relevan dan berkelanjutan bagi pembangunan ekonomi di masa depan. Tujuan penelitian ini yaitu menentukan peubah-peubah yang mempengaruhi Produk Domestik Regional Bruto di Indonesia Tahun 2022 menggunakan *Geographically Weighted Regression* (GWR) dengan fungsi pembobot kernel *Adaptive Gaussian*.

METODE PENELITIAN

Sumber Data dan Peubah Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diambil dari website BPS Pusat pada periode Tahun 2022 (<https://www.bps.go.id/id>). Wilayah-wilayah yang diteliti adalah 34 Provinsi di Indonesia. Peubah dependen pada penelitian ini yaitu produk domestik regional bruto tiap provinsi di Indonesia (Y, dalam milyar rupiah) serta peubah independen yaitu Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (X_1 , dalam %), Investasi Penanaman Modal Asing (X_2 , dalam juta dollar), Tingkat Pengangguran Terbuka (X_3 , dalam %) dan Indeks Pembangunan Manusia (X_4 , dalam %).

Teknik analisis data

1. Melakukan Analisis Deskriptif Data
2. Melakukan uji heterogenitas spasial yang bertujuan untuk mendeteksi adanya perbedaan karakteristik antar titik lokasi pengamatan (Nadya *et al.*, 2017)

$$BP: \frac{1}{2} \mathbf{f}^T \mathbf{Z} (\mathbf{Z}^T \mathbf{Z})^{-1} \mathbf{Z}^T \mathbf{f} \sim \chi_{(p)}^2 \quad (1)$$

Dimana: \mathbf{f} : $(f_1, f_2, \dots, f_n)^T$ dengan $f_i = \left(\frac{e_i^2}{\sigma^2} - 1\right)$

σ^2 : variansi dari y ; $e_i = y_i - \hat{y}_i$; e_i^2 : kuadrat sisaan untuk pengamatan ke- i

\mathbf{Z} : matriks berukuran $n \times (p + 1)$ yang berisi vector yang sudah distandarisasi (z) untuk setiap pengamatan

3. Menghitung Fungsi Pembobot Spasial dengan menggunakan fungsi pembobot yang bergantung pada jarak antar lokasi pengamatan. Koordinat-koordinat berguna untuk mendapatkan jarak antar lokasi pengamatan. Jarak antara lokasi (u_i, v_i) dengan lokasi (u_j, v_j) diwakili oleh d_{ij} dan dihitung dengan menggunakan rumus jarak Eucliden (O'Sullivan, 2003):

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

dengan u_i menyatakan letak garis lintang (*latitude*) dan v_i menyatakan letak garis bujur (*longitude*). Fungsi kernel adaptif gaussian memiliki bandwidth yang berbeda untuk setiap titik lokasi pengamatan. Hal ini disebabkan kemampuan fungsi kernel adaptif yang dapat disesuaikan dengan kondisi titik-titik pengamatan (Maulani *et al.*, 2016).

$$w_{ij} = \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{d_{ij}}{h_i} \right)^2 \right] \quad (3)$$

4. Estimasi parameter model GWR yang menurut (Fotheringham *et al.*, 2002) menggunakan *Weighted Least Square* (WLS) atau metode kuadrat terkecil terboboti yang dapat digunakan untuk mengestimasi parameter model GWR. Berikut model GWR yang akan terbentuk:

$$y_i(u_i, v_i) = \beta_0(u_i, v_i) + \beta_1(u_i, v_i)x_1 + \beta_2(u_i, v_i)x_3 + \beta_3(u_i, v_i)x_3 + \beta_4(u_i, v_i)x_4 + \varepsilon_i$$

$i = 1, 2, 3, \dots, 34$

y_i : nilai observasi peubah dependen ke- i ,

$\beta_0(u_i, v_i)$: konstanta/*intercept* pada pengamatan ke- i ,

(u_i, v_i) : menyatakan koordinat letak geografis (*longitude, latitude*) dari lokasi pengamatan ke- i ,

$\beta_k(u_i, v_i)$: nilai observasi peubah prediktor ke- k pada lokasi pengamatan ke- i ,
 $k=1, 2, 3, 4$

5. Melakukan pengujian asumsi klasik dengan melakukan uji Normalitas. Metode yang digunakan yaitu uji *Kolmogorov Smirnov*.

$$KS = \sup |F_n(x) - F_0(x)| \quad (4)$$

Hipotesis pengujian sebagai berikut:

H_0 : Residual berdistribusi normal

H_1 : Residual tidak berdistribusi normal

Kriteria uji

Jika $KS > KS_\alpha$ maka H_0 ditolak; Jika $KS < KS_\alpha$ maka H_0 diterima

7. Melakukan pemilihan model terbaik antara Regresi Linear dan GWR dengan melihat nilai AIC (*Akaike's Information Criterion*) terendah merupakan model yang baik untuk digunakan serta melihat nilai Koefisien Determinasi (R^2) yang dilakukan untuk seberapa besar peubah endogen secara simultan mampu menjelaskan peubah dependen. Semakin tinggi nilai R^2 berarti semakin baik model prediksi dari model penelitian yang diajukan (Fathurahman *et al.*, 2020). Analisis data dilakukan dengan menggunakan software RStudio.

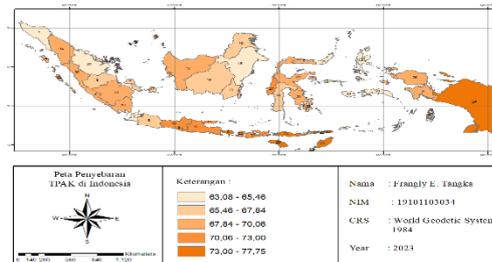
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Deskriptif



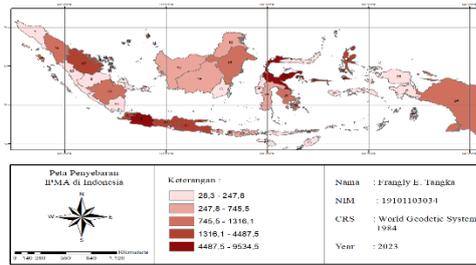
Gambar 1. Peta Penyebaran PDRB di Indonesia Tahun 2022

Gambar 1 menunjukkan bahwa provinsi yang mempunyai nilai PDRB dalam rentang 47.574-165.690 milyar rupiah yang digolongkan rendah adalah Provinsi Bengkulu, Provinsi Kep. Bangka Belitung, Provinsi DI Yogyakarta, Provinsi NTB, Provinsi NTT, Provinsi Kalimantan Utara, Provinsi Sulawesi Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara, Provinsi Gorontalo, Provinsi Sulawesi Barat, Provinsi Maluku, Provinsi Maluku Utara dan Provinsi Papua Barat. Sedangkan, Provinsi DKI Jakarta, Provinsi Jawa Barat, Provinsi Jawa Tengah dan Provinsi Jawa Timur terdapat dalam rentang 1.560.899 – 3.186.470 milyar rupiah yang tergolong tinggi.



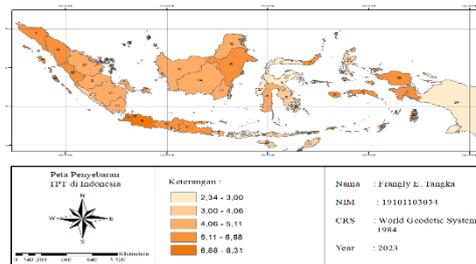
Gambar 2. Peta Penyebaran TPAK di Indonesia Tahun 2022

Gambar 2 menunjukkan bahwa provinsi yang mempunyai nilai TPAK dalam rentang 63,08% – 65,46% yang digolongkan rendah yaitu Provinsi Aceh, Provinsi Riau, Provinsi DKI Jakarta, Provinsi Banten, Provinsi Kalimantan Timur, Provinsi Sulawesi Utara, Provinsi Maluku dan Maluku Utara. Sedangkan, yang digolongkan tinggi dalam rentang 73,00% – 77,75% yaitu Provinsi Bali, Provinsi NTT, Provinsi Sulawesi Barat dan Provinsi Papua.



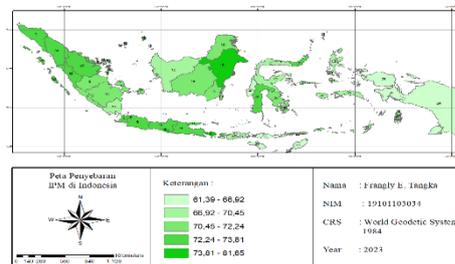
Gambar 3. Peta Penyebaran IPMA di Indonesia Tahun 2022

Gambar 3 menunjukkan bahwa provinsi yang mempunyai nilai IPMA dalam rentang 28,3 – 247,8 juta dollar yang digolongkan rendah yaitu Provinsi Aceh, Provinsi Sumatera Barat, Provinsi Jambi, Provinsi Sumatera Selatan, Provinsi Lampung, Provinsi Kep. Bangka Belitung, Provinsi DI Yogyakarta, Provinsi NTT, Provinsi Kalimantan Selatan, Provinsi Sulawesi Utara, Provinsi Gorontalo, Provinsi Sulawesi Barat, Provinsi Maluku dan Provinsi Papua Barat. Sedangkan, provinsi yang digolongkan tinggi dengan nilai rentang 4.487,5 – 9.534,5 juta dollar yaitu Provinsi Jawa Barat, Provinsi Sulawesi Tengah dan Provinsi Maluku Utara..



Gambar 4. Peta Penyebaran TPT di Indonesia Tahun 2022

Gambar 4 menunjukkan bahwa provinsi yang mempunyai nilai TPT yang digolongkan rendah dalam rentang 2,34% -3,00% yaitu Provinsi NTB, Provinsi Sulawesi Tengah, Provinsi Gorontalo, Provinsi Sulawesi Barat dan Provinsi Papua. Sedangkan, provinsi yang memiliki nilai TPT yang digolongkan tinggi dengan rentang 6,88% – 8,31% yaitu Provinsi Kep. Riau, Provinsi DKI Jakarta, Provinsi Jawa Barat, Provinsi Banten, dan Provinsi Maluku.



Gambar 5. Peta Penyebaran IPM di Indonesia Tahun 2022

Gambar 5 menunjukkan bahwa provinsi yang mempunyai nilai IPM yang digolongkan rendah dalam rentang 61,39% – 66,92% yaitu Provinsi NTT, Provinsi Sulawesi Barat, Provinsi Papua Barat dan Provinsi Papua. Sedangkan, nilai IPM yang digolongkan tinggi dalam rentang 73,81% – 81,65% yaitu Provinsi Kep. Riau, Provinsi DKI Jakarta, Provinsi DI Yogyakarta, Provinsi Bali, Provinsi Kalimantan Timur dan Kalimantan Sulawesi Utara.

Pengujian Asumsi Klasik

1. Uji Normalitas

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian normalitas untuk memeriksa apakah residual dari model regresi mengikuti distribusi yang bersifat normal. Untuk menguji normalitas, menggunakan metode Kolmogorov-Smirnov (KS) dan menghasilkan p-value sebesar 0,169 ($>0,05$) sehingga disimpulkan terima H_0 yang artinya residual berdistribusi normal.

2. Pendekatan Multikolinearitas

Metode yang digunakan untuk mendeteksi multikolinearitas adalah dengan mengamati nilai *Variance Inflation Factor* (VIF). Jika nilai VIF melebihi angka 10, maka dapat dikatakan terdapat multikolinearitas antara peubah independen.

Tabel 1. Hasil Uji Multikolinearitas

Peubah	Nilai VIF	Keterangan
X_1	1,408	Tidak terdapat multikolinearitas
X_2	1,090	Tidak terdapat multikolinearitas
X_3	1,622	Tidak terdapat multikolinearitas
X_4	1,368	Tidak terdapat multikolinearitas

Berdasarkan Tabel 1, nilai VIF kurang dari 10, maka dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat multikolinearitas yang artinya setiap peubah tidak saling berkorelasi.

3. Uji Autokorelasi

Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode Durbin-Watson (DW). Hasil menunjukkan nilai $DW=2,6879$. Statistik ini memiliki rentang nilai antara 0 dan 4. Nilai DW mendekati 2 menunjukkan indikasi bahwa tidak ada autokorelasi yang signifikan dalam model. Hasil pengujian menunjukkan DW bernilai 2,687, mendekati 2, yang mengindikasikan bahwa secara umum tidak ada autokorelasi yang signifikan dalam model regresi yang diuji.

Model GWR

Uji Heterogenitas Spasial

Tabel 2. Uji *Breusch-Pagan*

$\chi^2_{(4)}$	BP	<i>p - value</i>	α	Keputusan
9,487	9,958	0,041	0,050	Tolak H_0

Berdasarkan Tabel 2, Pengujian *Breusch Pagan* (BP) sebesar 9,958 dengan nilai dari *p-value* sebesar 0,041 ($< 0,05$) sehingga diperoleh keputusan tolak H_0 . Hal ini menunjukkan bahwa terdapat keragaman atau heterogenitas spasial pada data Produk Domestik Regional Bruto di Indonesia tahun 2022.

Menghitung jarak *Euclidean* antar lokasi pengamatan berdasarkan posisi geografis (*latitude* dan *longitude*)

Misalnya, mencari jarak antar Aceh ($u_1 = 491,653, v_1 = 10775,300$) dan Sumatera Utara ($u_2 = 255,597, v_2 = 11040,470$) yang disimbolkan dengan $d_{1,2}$.

$$d_{1,2} = \sqrt{(u_1 - u_2)^2 + (v_1 - v_2)^2}$$

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{(491,653 - 255,597)^2 + (10775,300 - 11040,470)^2} \\
 &= \sqrt{(236,056)^2 + (-265,170)^2} \\
 &= \sqrt{126.037,564} \\
 &= 355,019
 \end{aligned}$$

diperoleh jarak antara Provinsi Aceh dan Provinsi Sumatera Utara adalah 355,019 km.

Menentukan nilai *bandwidth* optimum *adaptive Gaussian Kernel* dengan menggunakan metode *Cross Validation* (CV).

Tabel 3. Bandwidth *adaptive Gaussian Kernel*

Provinsi	Bandwidth (km)
Aceh	4850,417
Sumatera Utara	4546,008
Sumatera Barat	4297,702
Riau	4281,918
⋮	⋮
Maluku	3491,666
Maluku Utara	3602,11
Papua Barat	4085,765
Papua	4851,358

Tabel 3 menunjukkan bahwa setiap wilayah pengamatan memiliki nilai bandwidth yang berbeda. Fungsi pembobot *adaptive Gaussian kernel* dengan nilai bandwidth optimum 4.850,417 km bagi Provinsi Aceh tersebut menunjukkan bahwa provinsi lain yang berjarak kurang dari 4.850,417 km memberikan pengaruh yang cukup tinggi terhadap data amatan.

Pengujian Parsial Parameter Model GWR

Pengujian parameter model GWR dilakukan pengujian secara parsial terhadap peubah-peubah yang signifikan dalam model GWR di setiap provinsi di Indonesia. Hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi peubah-peubah yang memiliki pengaruh signifikan dalam model GWR. Pengujian parsial yang digunakan adalah statistik uji t dan dengan hipotesis jika nilai statistik uji $|t| > t_{(0,025)(34-4-1)} = 2,045$, maka dapat diputuskan H_0 ditolak dengan kata lain parameter berpengaruh signifikan. Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian parsial terhadap parameter model GWR Provinsi Aceh.

Tabel 4. Pengujian Parsial Parameter Model GWR Provinsi Aceh

Peubah	Estimasi	Nilat T_{hit}	Keputusan
X_1	22.760,480	0,696	Terima H_0
X_2	1.884,494	3,935	Tolak H_0
X_3	112.950,700	1,418	Terima H_0
X_4	62.456,270	2,073	Tolak H_0

Tabel 4 menunjukkan bahwa, peubah Investasi Penanaman Modal Asing (X_2) dan Indeks Pembangunan Manusia (X_4) pada model GWR dengan fungsi pembobot *adaptive Gaussian kernel* berpengaruh signifikan terhadap PDRB di Propinsi Aceh. Oleh karena itu, model GWR untuk Provinsi Aceh sebagai berikut:

$$\hat{Y}_{Aceh} = -6324255 + 22760,480X_1 + 1884,494X_2 + 112950,700X_3 + 62456,270X_4$$

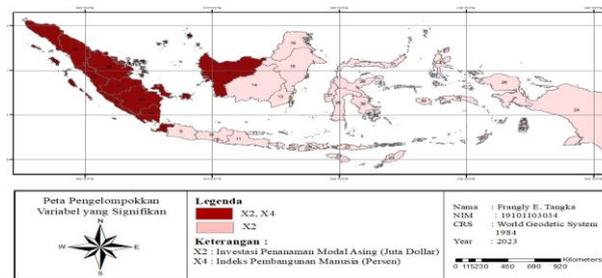
Pengujian menunjukkan bahwa Investasi Penanaman Modal Asing (X_2) berpengaruh secara signifikan terhadap PDRB di Provinsi Aceh. Model GWR menunjukkan setiap peningkatan satu juta dolar dalam Investasi Penanaman Modal Asing (X_2) akan menyebabkan peningkatan sebesar 1.884,494 Miliar Rupiah dalam PDRB di Provinsi Aceh, dengan asumsi peubah lainnya tetap konstan.

Selain itu, Indeks Pembangunan Manusia (X_4) juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap PDRB di Provinsi Aceh. Setiap peningkatan satu persen pada Indeks Pembangunan Manusia (X_4) akan menyebabkan peningkatan sebesar 62.456,270 Miliar Rupiah pada PDRB Provinsi Aceh, dengan asumsi peubah lainnya tetap konstan.

Tabel 5. Pengelompokan Peubah-peubah yang signifikan.

No.	Provinsi	Peubah yang signifikan
1.	Jawa Tengah, Di Yogyakarta, Jawa Barat, Jawa Timur, Bali, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur, Kalimantan Utara, Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Gorontalo, Sulawesi Barat, Maluku, Maluku Utara, Papua Barat, dan Papua.	X_2
2.	Aceh, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Riau, Jambi, Sumatera Selatan, Bengkulu, Lampung, Kep. Bangka Belitung, Kep. Riau, DKI Jakarta, Kalimantan Barat, dan Banten.	X_2, X_4

Secara umum PDRB semua propinsi di pulau Sumatera (11 Propinsi), Propinsi, DKI Jakarta, Propinsi Banten dan Propinsi Kalimantan Utara secara spasial dipengaruhi oleh investasi penanaman modal asing (X_2) dan indeks pembangunan manusia (X_4) (Tabel 5 dan Gambar 6). Namun PDRB untuk 19 propinsi lainnya secara spasial hanya dipengaruhi oleh investasi penanaman modal asing (X_2). Tingkat partisipasi angkatan kerja (X_1) dan Tingkat Pengangguran terbuka (X_3) secara spasial tidak mempengaruhi PDRB di semua propinsi (Tabel 5 dan Gambar 6).



Gambar 6. Pengelompokan Provinsi berdasarkan peubah-peubah yang berpengaruh signifikan pada model GWR

Pemilihan Model Terbaik

Tabel 6. Pemilihan Model Terbaik

Model	<i>R-squared</i>	AIC
Regresi Linear	0,450	1005,523
GWR	0,530	997,473

Berdasarkan Tabel 6 diperoleh bahwa model GWR dengan fungsi pembobot kernel adaptive gaussian memiliki *R-squared* yang lebih tinggi dan nilai AIC yang lebih rendah dibandingkan model regresi linear (Fathurahman *et al.*, 2020). Ini menunjukkan bahwa model GWR memberikan penjelasan dan penyesuaian yang lebih baik terhadap PDRB di Indonesia. Oleh karena itu, model GWR dipilih sebagai model terbaik untuk memprediksi PDRB di Indonesia tahun 2022.

KESIMPULAN

PDRB di semua Propinsi di Pulau Sumatera (11 Propinsi), Propinsi DKI Jakarta, Propinsi Banten, dan Propinsi Kalimantan Barat secara spasial dipengaruhi oleh investasi penanaman modal asing (X_2) dan indeks pembangunan manusia (X_4). Sedangkan PDRB di 19 Propinsi lainnya secara spasial hanya dipengaruhi oleh investasi penanaman modal asing (X_2). Model GWR dengan fungsi pembobot kernel *adaptive gaussian* yang terbentuk berbeda-beda untuk setiap provinsi di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, M.F., Wasono, R., & Darsyah, M.Y. (2015). Pemodelan Geographically Weighted Regression (GWR) Pada Tingkat Kemiskinan di Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Statistika*, 3(2), 67–74.
- Chaerany, I. (2023). Perbandingan Fungsi Pembobot Kernel Pada Model Geographically Weighted Regression Dalam Mengetahui Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Indeks Pembangunan Manusia di Sulawesi Selatan Tahun 2021 [Skripsi]. FMIPA UNN, Makassar.
- Fathurahman, M., Puhadi, Sutikno, & Ratnasari, V. (2020). Geographically Weighted Multivariate Logistic Regression Model and Its Application. *Abstract and Applied Analysis*, 2020, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2020/8353481>
- Fotheringham, A. S., Brunson, C., & Charlton, M. (2002). Geographically Weighted Regression: The Analysis of Apatially Varying Relationships (UK). John Wiley & Sons, New York.
- Herbiansyah, T., Yahya, I., Baharuddin, Agusrawati, Ruslan, & Laome, L. (2022). Pemodelan Produk Domestik Bruto Indonesia Menggunakan Geographically Weighted Regression. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Terapan (SINTA)*, VI, 23–33.
- Lutfiani, N., Sugiman, & Mariani, S. (2019). Pemodelan Geographically Weighted Regression (GWR) dengan Fungsi Pembobot Kernel Gaussian dan Bi-Square. *UNNES Journal of Mathematics*, 8(1), 82–91.
- Mamarimbing, F. (2022). Model Spasial Produksi Padi di Kecamatan Ranoyapo Menggunakan Geographically Weighted Regression [Skripsi]. FMIPA UNSRAT, Manado.
- Maulani, A., Herrhyanto, N., & Suherman, M. (2016). Aplikasi Model Geographically Weighted Regression (GWR) Untuk Menentukan Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kasus Gizi Buruk Anak Balita di Jawa Barat. *EurekaMatika*, 4(1), 46–63. <https://doi.org/https://doi.org/10.17509/jem.v4i1.10454>
- Nadya, M., Rahayu, W., & Santi, V.M. (2017). Analisis Geographically Weighted Regression (GWR) Pada Kasus Pneumonia Balita di Provinsi Jawa Barat. *Statistika Dan Aplikasinya*, 1(1), 23–32. <https://doi.org/https://doi.org/10.21009/JSA.01103>

- O'Sullivan, D. (2003). Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships (review). *Geographical Analysis*, 35(3), 272–275. <https://doi.org/10.1353/geo.2003.0008>.
- Ramadayani, M.R., Indiyah, F.H., & Hadi, I. (2022). Pemodelan Geographically Weighted Regression Menggunakan Pembobot Kernel Fixed dan Adaptive pada Kasus Tingkat Pengangguran Terbuka di Indonesia. *JMT : Jurnal Matematika Dan Terapan*, 4(1), 51–62. <https://doi.org/10.21009/jmt.4.1.5>.
- Tanadjaja, A., Zain, I., & Wibowo, W. (2017). Pemodelan Angka Harapan Hidup di Papua dengan pendekatan Geographically Weighted Regression. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 6(1), 1–7.
- Vebiriyana, M., Darsyah, Y.M., & Nur, I.M. (2015). Pemodelan Geographically Weighted Regression Dengan Fungsi Kernel Bisquare Terhadap Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Tingkat Kemiskinan Di Kabupaten Demak. *Jurnal Statistika*, 3(1), 34–39.
- Weku, W., Pramoedyo, H., Widodo, A., & Fitriani, R. (2022). Optimal Bandwidth for Geographically Weighted Regression to Model the Spatial Dependency of Land Prices in Manado, North Sulawesi Province, Indonesia. *Geography, Environment, Sustainability*, 15(2), 84–90. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2019-154>
- Widyaningsi, Y., & Fitrianingrum, M.R. (2022). Pemodelan Spasial pada Data Produk Domestik Regional Bruto di Pulau Jawa Sebelum dan Ketika Pandemi. *Jurnal Statistika dan Aplikasinya*, 6(2), 12–25.