PRIMER: Jurnal Ilmiah Multidisiplin
2026, Vol. 4, No. 4, 191-202
https://doi.org/10.55681/primer.v4i4.550

Pemodelan *Geographically Weighted Regression* Menggunakan Pembobot Adaptive Kernel pada Tingkat Pengangguran Terdidik di Indonesia

Ramadini[1], Syafriandi[2], Dony Permana[3], Zilrahmi[4]

[1234] Universitas Negeri Padang
Corresponding Author's e-mail : ramadini2211@gmail.com

e-ISSN: 2985-7996

Article History:
Received: 01-07-2026
Revised: 07-08-2026
Accepted: 29-08-2026

© 2026, The Author(s)

Abstrak: Tingkat Pengangguran Terdidik (TPTd) di Indonesia masih menjadi salah satu permasalahan ketenagakerjaan, salah satu penyebabnya karena ketidaksesuaian antara keterampilan lulusan berpendidikan dengan kebutuhan pasar kerja. Selain itu, TPTd di Indonesia menunjukkan perbedaan yang cukup tinggi antarprovinsi sehingga hubungan antara faktor-faktor yang memengaruhi TPTd diduga tidak sama antarprovinsi, yang menunjukkan adanya heterogenitas spasial. Penelitian ini bertujuan untuk membentuk model *Geographically Weighted Regression* (GWR) pada TPTd di 38 provinsi di Indonesia tahun 2024 dengan membandingkan tiga jenis pembobot adaptive kernel guna memperoleh model terbaik, serta mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh di masing-masing provinsi. Analisis diawali dengan pemodelan analisis regresi linier berganda, kemudian dilanjutkan dengan pengujian heterogenitas spasial menggunakan uji *Breusch-Pagan*. Selanjutnya dilakukan pemodelan GWR menggunakan fungsi pembobot adaptive kernel, dan diperoleh bahwa adaptive gaussian kernel merupakan fungsi pembobot terbaik dengan nilai *Akaike Information Criterion* (AIC) minimum sebesar 89,33011. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model GWR mampu menjelaskan keragaman TPTd sebesar 84,22%. Selanjutnya, pengaruh variabel-variabel prediktor terhadap TPTd berbeda pada setiap provinsi sehingga menghasilkan 14 kelompok provinsi. Dengan demikian, metode GWR memberikan hasil pemodelan yang lebih baik dibandingkan regresi linier berganda, yang ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi sebesar 84,22% dan nilai AIC sebesar 89,33011, sedangkan regresi linier berganda memiliki koefisien determinasi sebesar 28,59% dan nilai AIC sebesar 134,9013

Kata Kunci: GWR, Tingkat Pengangguran Terdidik, *Adaptive Gaussian Kernel, Heterogenitas Spasial*

How to cite: Ramadini, Syafriandi, Dony Permana, & Zilrahmi. (2026). Pemodelan Geographically Weighted Regression Menggunakan Pembobot Adaptive Kernel pada Tingkat Pengangguran Terdidik di Indonesia. *PRIMER : Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, *4*(4), 191–202. https://doi.org/10.55681/primer.v4i4.550

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

PENDAHULUAN

Pengangguran merupakan masalah ketenagakerjaan yang sering dihadapi oleh negara berkembang, termasuk Indonesia. Saat ini, pengangguran di Indonesia tidak hanya dialami oleh penduduk dengan pendidikan rendah, tetapi juga dihadapi oleh penduduk dengan tingkat pendidikan tinggi, yang dikenal dengan pengangguran terdidik. Berdasarkan publikasi ketenagakerjaan yang diterbitkan oleh BPS Indonesia tahun 2022 sampai tahun 2024, jumlah pengangguran lulusan SMK dan perguruan tinggi terus mengalami peningkatan. Menurut Badan Pusat Statistik (2006) dan Rahma et al. (2024), pengangguran terdidik adalah seseorang yang termasuk dalam angkatan kerja dan telah menyelesaikan pendidikan minimal menengah ke atas (SMA/SMK hingga perguruan tinggi), sedangkan perbandingan antara jumlah pengangguran terdidik dengan total angkatan kerja terdidik disebut Tingkat Pengangguran Terdidik (TPTd).

TPTd di Indonesia dipengaruhi oleh meningkatnya jumlah lulusan Pendidikan menengah ke atas, tetapi tidak diikuti dengan jumlah lapangan pekerjaan yang tersedia (Nurahmi et al., 2024), serta keterampilan lulusan yang tidak sesuai dengan kebutuhan industry (Amalia & Sari, 2019). Selain itu, perbedaan kondisi ekonomi, tingkat upah, dan kesempatan kerja menyebabkan TPTd di setiap provinsi berbeda. Perbedaan ini menunjukkan bahwa faktor-faktor yang memengaruhi TPTd diduga tidak sama di setiap provinsi. Karena itu, dibutuhkan pendekatan analisis yang mempertimbangkan aspek spasial.

Sejumlah penelitian sebelumnya yang membahas TPTd atau pengangguran terdidik beserta faktor-faktor yang memengaruhinya, di antaranya Produk Domestik Regional Bruto (PDRB), jumlah penduduk, tingkat upah, Indeks Pembangunan Manusia (IPM), dan Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (TPAK) (Alharis & Yuniasih, 2022; Nurteta, 2021; Putri & Suhartini, 2024). Akan tetapi, penelitian-penelitian tersebut menggunakan pendekatan regresi global yang mengasumsikan bahwa hubungan antara variabel respon dan variabel prediktor bersifat sama pada seluruh wilayah. Padahal, Indonesia memiliki kondisi sosial, ekonomi, dan geografis yang berbeda pada setiap provinsi. Perbedaan kondisi antarprovinsi dapat menimbulkan heterogenitas spasial yang menyebabkan pengaruh variabel prediktor terhadap TPTd akan berbeda pada setiap provinsi (Erdkhadifa, 2021).

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menangani heterogenitas spasial adalah *Geographically Weighted Regression* (GWR), yaitu metode pengembangan dari regresi linier berganda yang menghasilkan parameter regresi lokal pada setiap wilayah melalui pembobotan berdasarkan kedekatan geografis antarwilayah (Fotheringham et al., 2002). Melalui pendekatan ini, setiap wilayah memiliki parameter regresi yang berbeda sesuai dengan kondisi wilayah tersebut, sehingga GWR sesuai digunakan pada data yang mengandung heterogenitas spasial. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa GWR memberikan hasil pemodelan yang lebih baik dibandingkan regresi linier berganda pada data yang mengandung variasi spasial, seperti penelitian yang dilakukan oleh Erdkhadifa (2021) dan Putra et al. (2022) pada TPT di Jawa Timur dan Jawa Barat.

Dalam pemodelan GWR, hasil estimasi dipengaruhi oleh fungsi pembobot kernel yang digunakan, karena fungsi pembobot digunakan untuk menentukan besarnya bobot yang diberikan pada setiap lokasi pengamatan berdasarkan kedekatan geografis. Oleah karena itu, penelitian ini menggunakan fungsi pembobot *adaptive* kernel dengan membandingkan tiga jenis kernel, yaitu *adaptive gaussian kernel, adaptive bisquare kernel*, dan *adaptive tricube kernel*, untuk menentukan fungsi pembobot yang menghasilkan model GWR terbaik dalam memodelkan TPTd di Indonesia. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membentuk model *Geographically Weighted Regression* (GWR) pada TPTd di Indonesia tahun 2024 serta menentukan fungsi *adaptive kernel* yang menghasilkan model terbaik.

METODE PENELITIAN

Sumber Data dan Variabel Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder, yang bersumber dari Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia tahun 2024. Penelitian ini menggunakan 38 provinsi sebagai unit pengamatan dengan variabel penelitian yang digunakan yaitu TPTd (Y), upah minimum (X_1), investasi (X_2), Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) (X_3), Jumlah Penduduk Usia Produktif (JPUP) (X_4), Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (TPAK) perempuan (X_5), dan tingkat kemiskinan (X_6).

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dengan metode GWR dengan bantuan *software* R Studio sebagai berikut.

1. Melakukan analisis deskriptif data

Analisis deskriptif data dilakukan untuk melihat gambaran umum pada data, meliputi nilai minimum, maximum, median, dan mean dari setiap variabel penelitian. Selain itu, juga dilakukan pemetaan TPTd di Indonesia guna melihat persebaran TPTd di setiap provinsi.

2. Melakukan transformasi logaritma natural (ln)

Transformasi logaritma natural (ln) diterapkan pada variabel upah minimum (X_1), investasi (X_2), PDRB (X_3), dan JPUP (X_4) untuk mengubah skala variabel yang memiliki besaran nilai relatif besar dan karakteristik penyebaran yang berbeda, sehingga diperoleh bentuk variabel yang lebih sesuai untuk pemodelan regresi linier berganda dan GWR (Nachrowi & Usman, 2006).

3. Memodelkan data menggunakan analisis regresi linier berganda.

Analisis regresi linier berganda merupakan metode analisis statistik yang digunakan untuk menjelaskan hubungan antara satu variabel respon dengan dua atau lebih variabel prediktor (Montgomery et al., 2012). Secara umum, model regresi linier berganda untuk pengamatan ke-*i* disajikan pada Persamaan (1).

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^{k} \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i \quad i = 1\ 2\ \ldots k \tag{1}$$

Parameter pada analisis regresi linier berganda diestimasi menggunakan metode *Ordinary Least Squares* (OLS). Penggunaan metode OLS bertujuan untuk memperoleh penaksiran parameter yang bersifat *Best Linear Unbiased Estimator* (BLUE), yang akan terpenuhi apabila asumsi klasik terpenuhi (Gujarati, 2003). Penaksiran parameter regresi dengan OLS dinyatakan sebagai berikut (Montgomery et al., 2012):

$$\widehat{\boldsymbol{\beta}} = (\boldsymbol{X^T X})^{-1} \boldsymbol{X^T Y} \tag{2}$$

Selanjutnya juga dilakukan uji asumsi klasik yang meliputi uji normalitas, uji multikolinearitas, uji autokorelasi, dan uji heteroskedastisitas untuk mengetahui apakah model regresi telah memenuhi asumsi klasik, sehingga penaksiran parameter yang diperoleh melalui metode OLS bersifat BLUE.

4. Melakukan uji heterogenitas spasial

Uji heterogenitas spasial bertujuan untuk melihat ada atau tidaknya perbedaan karakteristik di setiap lokasi pengamatan, sehingga hubungan antara variabel prediktor dan variabel respon tidak homogen di setiap wilayah (Caraka & Yasin, 2017). Pengujian heterogenitas spasial dilakukan menggunakan uji *Breuch-Pagan*, dengan hipotesis sebagai berikut.

$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \cdots = \sigma_n^2 = \sigma^2$

H_1: terdapat minimal satu $\sigma_i^2 \neq \sigma^2 \quad i = 1\ 2\ \ldots\ n$

Statistik uji:

$$BP = \frac{1}{2} \boldsymbol{f}^T \boldsymbol{Z} (\boldsymbol{Z}^T \boldsymbol{Z})^{-1} \boldsymbol{Z}^T \boldsymbol{f} \tag{3}$$

Kriteria pengujian adalah tolak H_0 apabila $BP > X^2{}_{(p+1)(\alpha)}$ atau *p-value* < α.

5. Melakukan pemodelan *Geographically Weighted Regression* (GWR)

GWR merupakan metode pengembangan dari regresi linier berganda, yang bertujuan untuk mengatasi data yang memiliki heterogenitas spasial dengan menghasilkan penaksiran parameter regresi yang bersifat lokal (Fotheringham et al., 2002). Model GWR secara umum dapat ditulis sebagai berikut.

$$y_i = \beta_0(u_i\ v_i) + \sum_{k=1}^{p} \beta_k(u_i\ v_i)x_{ik} + \varepsilon_i \quad i = 1\ 2\ \dots\ n \tag{4}$$

Dalam pemodelan GWR, Langkah pertama yang dilakukan adalah menghitung jarak *euclidean*, dengan memanfaatkan *latitude* (u) dan *longitude* (v) setiap provinsi di Indonesia (Kaka et al., 2024). Jarak *euclidean* dirumuskan pada Persamaan (5).

$$d_{ij} = \sqrt{(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)} \tag{5}$$

Tahap berikutnya yaitu menentukan *bandwidth* optimum untuk membentuk matriks pembobot. Pemilihan *bandwidth* dilakukan berdasarkan nilai *Cross Validation* (CV) minimum, yang secara matematis dituliskan sebagai berikut (Caraka & Yasin, 2017).

$$CV = \sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_{\neq i}(h))^2 \tag{6}$$

Setelah nilai bandwidth diperoleh, tahap selanjutnya membentuk matriks pembobot. Matriks pembobot memiliki peran penting dalam pembentukan model GWR, karena matriks pembobot menghubungkan lokasi pengamatan satu dengan lokasi lainnya. Pembobot dapat dihitung menggunakan fungsi kernel (Caraka & Yasin, 2017). Fungsi kernel terbagi menjadi dua, yaitu *fixed* dan *adaptive*. Namun, dalam penelitian ini hanya menggunakan fungsi pembobot *adaptive kernel*, yang terdiri dari:

Adaptive Gaussian Kernel

$$w_j(u_i.v_i) = exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{d_{ij}}{h_i}\right)^2\right] \tag{7}$$

Adaptive Bisquare Kernel

$$w_j(u_i.v_i) = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{d_{ij}}{h_i}\right)^2\right)^2 . & untuk\ d_{ij} \le h_i \\ 0 . & untuk\ d_{ij} > h_i \end{cases} \tag{8}$$

Adaptive Tricube Kernel

$$w_j(u_i.v_i) = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{d_{ij}}{h_i}\right)^3\right)^3 . & untuk\ d_{ij} \le h_i \\ 0 . & untuk\ d_{ij} > h_i \end{cases} \tag{9}$$

Parameter model GWR diestimasi menggunakan metode *Weighted Least Square* (WLS). Metode WLS memberikan bobot yang berbeda pada setiap lokasi pengamatan, yang ditentukan berdasarkan jarak antarlokasi. Besaran pembobot dipengaruhi oleh jarak amatan. Semakin dekat jarak amatan, maka semakin besar bobot yang diberikan dalam proses estimasi parameter (Oktafiani et al., 2024). Estimasi parameter model GWR menggunakan WLS dinyatakan sebagai berikut.

$$\widehat{\boldsymbol{\beta}}(u_i\ v_i) = (\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{W}(u_i\ v_i)\boldsymbol{X})^{-1}\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{W}(u_i\ v_i)\boldsymbol{Y} \tag{10}$$

6. Melakukan uji hipotesisi model GWR

Uji hipotesis model GWR terdiri dari dua uji, yaitu pengujian kesesuaian model dan pengujian parameter model. Pengujian kesesuaian model (*Goodness of Fit*) dilakukan untuk melihat apakah model GWR memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan model regresi linier berganda (Erdkhadifa, 2021). Hipotesis untuk pengujian kesesuaian model sebagai berikut (Caraka & Yasin, 2017).

$H_0: \beta_k(u_i\ v_i) = \beta_k \quad k = 1\ 2\ \dots\ p$

H_1: Paling sedikit satu $\beta_k(u_i\ v_i) \neq 0$
Statistik uji:

$$F^* = \frac{SSE(H_0)/df_1}{SSE(H_1)/df_2} \quad (11)$$

Dengan :
$SSE(H_0) = \boldsymbol{Y}^T(\boldsymbol{I}-\boldsymbol{H})\boldsymbol{Y}$ di mana $\boldsymbol{H} = \boldsymbol{X}(\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{X})^{-1}\boldsymbol{X}^T$, $SSE(H_1) = \boldsymbol{Y}^T(\boldsymbol{I}-\boldsymbol{S})^T(\boldsymbol{I}-\boldsymbol{S})\boldsymbol{Y}$,
$df_1 = n-p-1, df_2 = (n-2tr(\boldsymbol{S})+tr(\boldsymbol{S^TS}))$
Keputusan H_0 ditolak jika $F^* > F_{\alpha;df_1;df_2}$ atau *p-value* < α, yang berarti bahwa terdapat perbedaan antara model regresi linier berganda dengan model GWR.

Selanjutnya, pengujian parameter model yang dilakukan secara parsial bertujuan untuk mengetahui variabel prediktor mana saja yang signifikan memengaruhi variabel respon (Erdkhadifa, 2021). Berikut hipotesis pengujian parameter model (Caraka & Yasin, 2017).
H_0: $\beta_k(u_i.v_i) = 0.$ $k = 1.2.\ldots.p$
H_1: Paling sedikit satu $\beta_k(u_i\ v_i) \neq 0$
Statistik uji yang digunakan:

$$T_{hi} = \frac{\widehat{\boldsymbol{\beta}}_k(u_i\ v_i)}{\widehat{\sigma}\sqrt{g_{kk}}} \quad (12)$$

Dengan:
g_{kk} adalah elemen diagonal ke-k dari matriks $\mathbf{GG}^{\mathrm{T}}$ dimana $\boldsymbol{G} = (\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{W}(u_1\ v_1)X)^{-1}\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{W}(u_1\ v_1)$.
Tolak H_0 jika $|T_{hit}| > t_{\alpha/2;df_2}$ atau *p-value* < α, yang berarti bahwa parameter $\boldsymbol{\beta}_k(u_i\ v_i)$ berpengaruh signifikan terhadap model.

7. Pemilihan model terbaik

Penentuan model terbaik dapat menggunakan nilai *Akaike's Information Criterion* (AIC). Model dikatakan terbaik jika memiliki nilai AIC paling kecil (Fotheringham et al., 2002). Berikut ini persamaan untuk memperoleh nilai AIC.

$$AIC = 2n\ log_e(\hat{\sigma}) + n\ log_e(2\pi) + n + tr(S) \quad (13)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

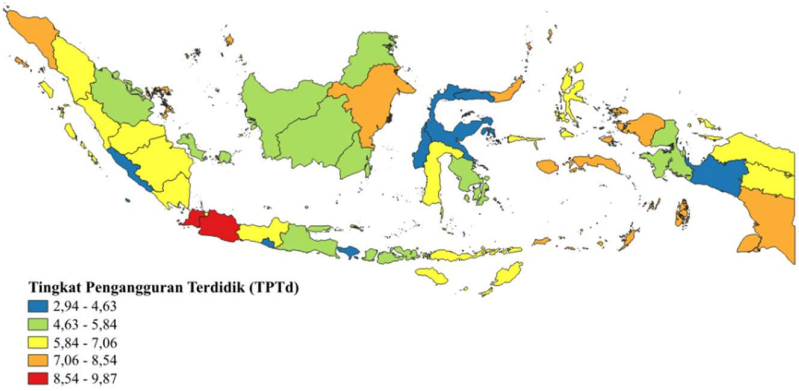
Statistika Deskriptif

Tahap awal sebelum dilakukan pemodelan, terlebih dahulu dilakukan deskripsi data bertujuan untuk melihat gambaran umum untuk setiap variabel. Deskripsi data disajikan dalam statistika deskriptif pada Tabel 1.

Tabel 1. Statistika Deskriptif

Variabel	N	Minimum	Maximum	Median	Mean
Y	38	2,94	9,87	6,24	6,20
X_1	38	2.036.947	5.067.381	3.118.561	3.113.360
X_2	38	15,6	35280,8	1883,15	5187,09
X_3	38	13798,74	2151041,33	139185,225	343843,95
X_4	38	327939	38426026	2889777	5631522
X_5	38	46,25	85,46	54,53	55,86
X_6	38	4	32,97	10,13	11,15

Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa setiap variabel yang digunakan dalam penelitian ini memiliki rentang yang cukup lebar, terlihat dari nilai minimum dan nilai maximum yang berbeda jauh. Pada TPTd di Indonesia nilai minimum sebesar 2,94% dan nilai maximum 9,87%. Sebaran TPTd setiap provinsi disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Sebaran TPTd di Indonesia Tahun 2024

Pada Gambar 1, TPTd terbagi ke dalam lima kategori, yaitu sangat tinggi (merah), tinggi (oranye), sedang (kuning), rendah (hijau), dan sangat rendah (biru). Pesebaran TPTd yang dikategorikan sangat tinggi hanya berada di dua provinsi, yaitu provinsi Banten dan Jawa Barat, sedangkan provinsi lainnya di Indonesia berada di kategori lainnya. Pesebaran TPTd yang tidak merata di di Indonesia menjadikan adanya keragaman karakteristik antarwilayah.

Regresi Linier Berganda

Pemodelan atau Parameter regresi linier berganda diestimasi menggunakan Persamaan (2), sehingga terbentuk model untuk regresi linier berganda, yaitu

$$Y = -28.47487 + 1.95922 \ln X_1 - 0.36946 \ln X_2 - 0.43542 \ln X_3 + 1.36997 \ln X_4 - 0.13621 X_5 + 0.06186 X_6$$

Model diatas mempunyai nilai R^2 sebesar 0,2859, yang berarti kemampuan model untuk menjelaskan pengaruh sebesar 28,59%. Berikut disajikan hasil estimasi parameter regresi linier berganda pada Tabel 2.

Tabel 1. Hasil Estimasi Parameter Regresi Linier Berganda

Variabel	Estimasi	*t value*	*p-value*	*p-value* uji F
Intercept	-28,47487	-1,122	0,27061	0,009715
$\ln X_1$	1,95922	1,303	0,20213	
$\ln X_2$	-0,36946	-1,167	0,25196	
$\ln X_3$	-0,43542	-0,838	0,40840	
$\ln X_4$	1,36997	2,416	0,02178	
X_5	-0,13621	-3,618	0,00104	
X_6	0,06186	1,304	0,30894	

Berdasarkan Tabel 2, keputusan untuk uji parameter secara simultan yaitu H_0 ditolak, karena nilai *p-value* (0,009715) < α = 0,1 maka seluruh variabel prediktor secara simultan berpengaruh terhadap TPTd di Indonesia tahun 2024. Selanjutnya pengujian parameter secara parsial diperoleh hanya dua variabel yang berpengaruh signifikan terhadap TPTd, yaitu JPUP (X_4) dan TPAK Wanita (X_5) ini bisa dilihat dari *p-value* masing-masing variabel yang kecil dari taraf signifikan 0,1. Selanjutnya hasil uji asumsi klasik disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Uji Asumsi Klasik

Uji Asumsi Klasik	Uji	*p-value* / VIF	Keputusan
Uji Normalitas	*Kolmogorov-Smirnov*	0,1235	Berdistribusi Normal
Uji Multikolinearitas	*Variance Inflation Factor* (VIF)	$\ln X_1$ 2,17596	Tidak Terjadi Multikolinearitas
		$\ln X_2$ 6,50765	
		$\ln X_3$ 9,82647	
		$\ln X_4$ 9,73748	
		X_5 2,21360	
		X_6 3,67266	
Uji Autokorelasi	*Durbin-Watson* (DW)	0,2103	Tidak Terjadi Autokorelasi
Uji Heterokedastisitas	*Glejser*	0,07209	Terjadi Heterokedastisitas

Tabel 3 menunjukkan hasil model regresi telah memenuhi asumsi normalitas, tidak terjadi multikolinearitas, dan tidak terjadi autokorelasi. Namun, hasil uji heteroskedastisitas menunjukkan bahwa model mengalami heteroskedastisitas. Oleh karena itu, tahap selanjutnya dilakukan uji heterogenitas spasial untuk melihat ada atau tidaknya perbedaan karakteristik di setiap lokasi pengamatan.

Heterogenitas Spasial

Pengujian heterogenitas spasial yang menggunakan uji *Breuch-Pagan* pada Persamaan (3) memperoleh hasil yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji *Breusch-Pagan*

Nilai BP	df	$X^2_{(6;0.10)}$	*p-value*
12,131	6	10,645	0,05911

Berdasarkan Tabel 4, nilai p-value untuk uji *Breusch-Pagan* sebesar 0,05911 dan nilai BP sebesar 12,131. Maka Keputusan yang diambil yaitu tolak H_0, karena nilai BP > $X^2_{(6;0\ 10)}$ (12,131 > 10,645) dan *p-value* < α (0,05911 < 0,10), ini berarti bahwa data TPTd di Indonesia mengandung heterogenitas spasial.

Pemodelan *Geographically Weighted Regression*

Ketika data mengandung heterogenitas spasial maka pemodelan dapat dilakukan *menggunakan Geographically Weighted Regression* (GWR). Sebelum dilakukan pemodelan menggunakan GWR Langkah pertama yaitu mengitung jarak *euclidean* untuk masing-masing provinsi dengan menggunakan *latitude* (u) dan *longitude* (v) untuk 38 provinsi dengan menerapkan Persamaan (5), yang hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 4. *Jarak Euclidean*

Provinsi	Lokasi ke-			
	1	2	...	38
Aceh	0	3,003411	...	43,470903
Sumatera Utara	3,003411	0	...	41,005793
⋮	⋮	⋮	⋱	⋮
Papua Pegunungan	43,470903	41,005793	...	0

Tahap berikutnya, yaitu menentukan fungsi pembobot *adaptive kernel* terbaik berdasarkan nilai AIC terkecil, setelah diperoleh fungsi pembobot *adaptive kernel* terbaik dari ketiga fungsi pembobot barulah memilih *bandwidth* optimum. Berikut ini hasil nilai AIC untuk masing-masing fungsi pembobot pada Tabel 6.

Tabel 5. Perbandingan Nilai AIC Fungsi *Adaptive Kernel*

Fungsi Pembobot Kernel	AIC
Adaptive Gaussian Kernel	89,33011
Adaptive Bisquare Kernel	101,0301
Adaptive Tricube Kernel	103,952

Dari Tabel 6, fungsi pembobot kernel dengan nilai AIC terkecil yaitu *adaptive gaussian kernel.* Oleh karena itu, pemodelan GWR untuk TPTd di Indonesia tahun 2024 menggunakan fungsi pembobot *adaptive gaussian kernel*. Nilai *bandwidth* optimum untuk setiap provinsi menggunakan Persamaan (6) disajikan pada Tabel 7.

Tabel 6. Nilai *Bandwidth Adaptive Gaussian* Kernel Setiap Provinsi

Lokasi ke-	*Bandwidth*	Lokasi ke-	*Bandwidth*
1	9,616961	20	5,883783
2	6,887344	21	5,803123
3	5,819531	22	5,178455
4	4,547996	23	5,234215
5	4,068575	24	6,411713
6	3,774855	25	7,451623
7	4,533416	26	5,162159
8	3,230669	27	5,433690
9	4,258852	28	6,311235
10	6,049527	29	5,491640
11	3,761751	30	4,526194
12	4,265904	31	8,469522
13	5,000783	32	6,559701
14	4,691652	33	6,653351
15	5,496193	34	7,351289
16	4,166055	35	8,332243
17	6,210678	36	9,721344
18	6,343544	37	6,505734
19	8,206446	38	9,283187

Penerapan fungsi *adaptive gaussian kernel* sebagai fungsi pembobot menjadikan nilai *bandwidth* untuk setiap provinsi bervariasi. Matriks pembobot menggunakan fungsi pembobot *adaptive gaussian kernel* dibentuk menggunakan jarak *euclidean* serta nilai *bandwidth* setiap provinsi berdasarkan persamaan (7), sehingga diperoleh matriks pembobot *adaptive gaussian kernel* sebagai berikut.

Tabel 7. Pembobot *Adaptive Gaussian Kernel*

Lokasi ke-	1	2	⋯	37	38
1	1	0,9524032	⋯	0,0001364	3,657e-05
2	0,9092988	1	⋯	2,256e-07	2,007e-08
3	0,5534834	0,9936893	⋯	3,539e-09	1,404e-10
⋮	⋮	⋮	⋱	⋮	⋮
36	0,0000351	0,0001115	⋯	0,9143018	0,9670914
37	3,583e-09	3,554e-08	⋯	1	0,9053303
38	0,0000173	0,0000579	⋯	0,9523280	1

Estimasi parameter model GWR dengan metode WLS dan fungsi pembobot *adaptive gaussian kernel*, dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 8. Estimasi Parameter menggunakan *Adaptive Gaussian Kernel*

Variabel	**Min**	**Median**	**Max**
Intercept	-111,35013	-18,99002	24,90530
$\ln X_1$	-1,28499	1,56199	7,14128
$\ln X_2$	-1,07541	-0,01005	0,65653
$\ln X_3$	1,48272	-0,65515	0,36432
$\ln X_4$	0,50145	1,25524	2,92161
X_5	-0,24491	-0,15314	-0,08501
X_6	-0,24587	0,01288	0,20089

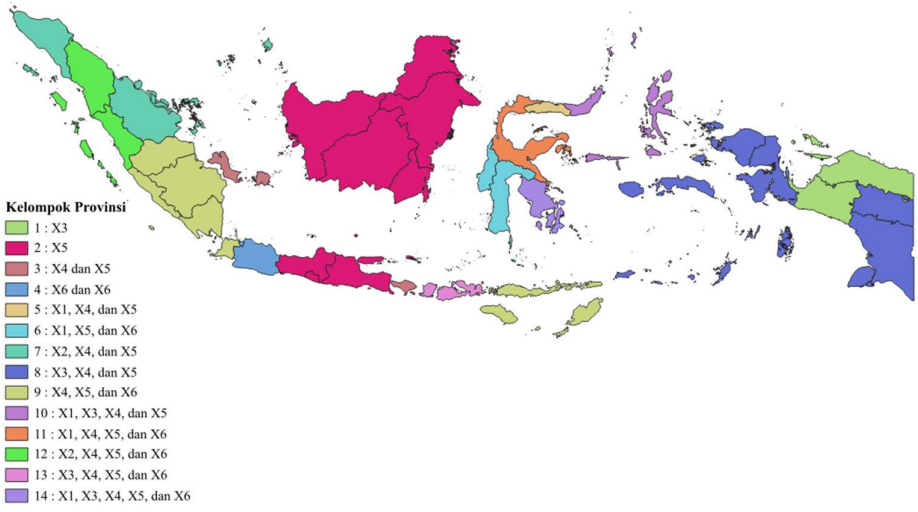
Tabel 9 menunjukkan bahwa variabel TPAK wanita **(**X_5) memiliki nilai minimum sebesar -0,24491 dan nilai maximum sebesar -0,08501. Seluruh nilai koefisien pada variabel TPAK wanita bernilai negatif, ini menunjukkan bahwa peningkatan TPAK wanita cenderung diikuti dengan penurunan TPTd pada seluruh provinsi, walaupun besarnya pengaruh memiliki perbedaan pada setiap wilayah. Sedangkan variabel upah minimum (X_1), investasi (X_2), JPUP (X_4), dan kemiskinan (X_5) mempunyai nilai minimum yang negatif sedangkan nilai maximum positif.

Setelah estimasi parameter parameter model GWR diperoleh, lalu dilanjutkan dengan pengujian hipotesis model GWR untuk mengetahui model layak dan mengandung faktor geografis pada model. Pengujian ini terdiri dari uji F untuk pengujian kesesuaian model dan uji t untuk pengujian parameter. Hasil uji F menggunakan Persamaan 11 diperoleh nilai *p-value* sebesar 0,0073 < α = 0,10, ini berarti bahwa model GWR yang dihasilkan mempunyai perbedaan yang signifikan dengan model regresi linier berganda, dan model GWR yang terbentuk mampu menangkap variasi spasial atau pengaruh geografis. Pengujian selanjutnya yaitu pengujian kesesuaian model menggunakan Persamaan 12. Variabel yang signifikan untuk setiap provinsi disajikan pada Tabel 10.

Tabel 9. Variabel Prediktor yang Berpengaruh Signifikan

Kelompok	Provinsi	Variabel Signifikan
1	Papua dan Papua Tengah	X_3
2	Jawa Tengah, D.I. Yogyakarta, Jawa Timur, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur, dan Kalimantan Utara	X_5
3	Kep. Bangka Belitung dan Bali	X_4 dan X_5
4	DKI Jakarta dan Jawa Barat	X_5 dan X_6
5	Gorontalo	X_1, X_4 dan X_5
6	Sulawesi selatan dan Sulawesi Barat	X_1, X_5 dan X_6
7	Aceh, Riau, dan Kep. Riau	X_2, X_4 dan X_5
8	Maluku, Papua Barat, Papua Barat Daya, Papua Selatan, dan Papua Pegunungan	X_3, X_4 dan X_5
9	Jambi, Sumatera Selatan, Bengkulu, Lampung, Banten, dan NTB	X_4, X_5 dan X_6
10	Sulawesi Utara dan Maluku Utara	X_1, X_3, X_4 dan X_5
11	Sulawesi Tengah	X_1, X_4, X_5 dan X_6
12	Sumatera Utara dan Sumatera Barat	X_2, X_4, X_5 dan X_6
13	NTT	X_3, X_4, X_5 dan X_6
14	Sulawesi Tenggara	X_1, X_3, X_4, X_5 dan X_6

Berdasarkan Tabel 10 diperoleh 14 kelompok provinsi yang memiliki kombinasi variabel prediktor yang berpengaruh signifikan terhadap TPTd di Indonesia tahun 2024. Semua variabel prediktor dalam penelitian ini berpengaruh secara parsial terhadap variabel respon. Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai pesebaran spasial masing-masing kelompok, hasil pengelompokkan divisualisasikan dalam bentuk peta pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta Kelompok Provinsi berdasarkan Variabel yang Signifikan

Untuk memberikan gambaran hasil parameter lokal, berikut contoh model GWR untuk provinsi Sumatera Barat.

$$\hat{y}_3 = -34{,}263399 - 0{,}932681\ln X_2 + 2{,}563899\ln X_4 - 0{,}1903579X_5 - 0{,}201685X_6$$

Model GWR untuk provinsi Sumatera Barat diketahui bahwa faktor-faktor yang berpengaruh terhadap TPTd di provinsi Sumatera Barat adalah investasi (X_2), JPUP (X_4), TPAK Wanita (X_5), dan kemiskinan **(**X_6). Variabel X_4 mempunyai pengaruh positif, artinya peningkatan TPAK Wanita akan berkaitan dengan meingkatnya TPTd di Sumatera Barat. Sedangkan variabel X_2 X_5 dan X_6 memiliki pengaruh negatif, yang menandakan bahwa peningkatan ketiga variabel tersebut akan menurunkan TPTd.

Pemilihan Model Terbaik

Pemilihan model terbaik dilakukan dengan melihat nilai AIC menggunakan Persamaan (13). Model terbaik merupakan model dengan nilai AIC terkecil.

Tabel 10. Perbandingan Model Regresi Linier Berganda dan GWR

Model	AIC
Regresi Linier Berganda	134,9013
GWR	89,33011

Dari Tabel 11 dapat diketahui bahwa model GWR merupakan model dengan kinerja yang lebih baik daripada model regresi linier berganda. Model GWR menghasilkan nilai R^2 sebesar 84,22%, ini menunjukkan bahwa TPTd di Indonesia mampu dijelaskan oleh variabel prediktor yang digunakan sebesar 84,22%, dan sisanya sebesar 15,78% dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak digunakan dalam penelitian ini.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, pengaruh variabel-variabel prediktor terhadap TPTd di Indonesia tahun 2024 berbeda pada setiap provinsi, ini menunjukkan adanya heterogenitas spasial sehingga metode GWR lebih sesuai digunakan dibandingkan dengan regresi linier berganda. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa fungsi pembobot *adaptive gaussian kernel* menghasilkan model terbaik dengan nilai AIC sebesar 89,33011 dan koefisien determinasi sebesar 84,22%, lebih tinggi dibandingkan model regresi linier berganda yang hanya memiliki koefisien determinasi sebesar 28,59%. Hasil pemodelan GWR menghasilkan 14 kelompok provinsi berdasarkan kombinasi variabel prediktor yang signifikan. Secara keseluruhan variabel upah minimum (X_1), investasi (X_2), PDRB (X_3), JPUP (X_4), TPAK perempuan (X_5), dan tingkat kemiskinan (X_6). memiliki pengaruh terhadap TPTd di Indonesia tahun 2024, tetapi pengaruhnya berbeda pada setiap provinsi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemodelan menggunakan metode GWR mampu menangkap perbedaan karaktersistik antarprovinsi dalam memodelkan TPTd di Indonesia.

Perbedaan pengaruh faktor-faktor tersebut pada setiap provinsi menunjukkan bahwa penanganan TPTd perlu disesuaikan dengan kondisi pada masing-masing provinsi. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan atau menggunakan variabel lain yang diduga berpengaruh terhadap TPTd serta menggunakan data pada tahun berikutnya untuk melihat perubahan pengaruh faktor-faktor tersebut antarwilayah dari waktu ke waktu.

DAFTAR PUSTAKA

Alharis, F. A., & Yuniasih, A. F. (2022). Determinan Pengangguran Usia Muda Terdidik di Provinsi Banten Tahun 2020. *Seminar Nasional Official Statistics*, *1*, 53–62. https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2022i1.1153

Amalia, E., & Sari, L. K. (2019). Analisis Spasial untuk Mengidentifikasi Tingkat

Pengangguran Terbuka berdasarkan Kabupaten/Kota di Pulau Jawa Tahun 2017. *Indonesian Journal of Statistics and Its Applications*, *3*(3), 202–215.

BPS. (2006). *Statistik pengangguran 2001—2006*. Jakarta: BPS.

Caraka, R. E., & Yasin, H. (2017). *Geographically Weighted Regression (GWR), Sebuah Pendekatan Regresi Geografis*. Yogyakarta: Mobius.

Erdkhadifa, R. (2021). Pemodelan Spasial Tingkat Pengangguran Terbuka di Jawa Timur dengan Geographically Weighted Regression. *STATISTIKA Journal of Theoretical Statistics and Its Applications*, *21*(2), 85–97. https://doi.org/10.29313/statistika.v21i2.295

Fotheringham, A. S., Brunsdon, C., & Charlton, M. (2002). *Geographically Weigthed Regression, the Analysis of Spatially Varying Relationships*. England: John Wiley & Sons Inc.

Gujarati, D. N. (2003). Basic Econometrics. In *The Economic Journal*. New York: McGraw-Hill Companies.

Kaka, K. Y., Suryowati, K., & Bekti, R. D. (2024). Pemodelan Geographically Weighted Regression (GWR) menggunakan Matriks Pembobot Fixed Gaussian Kernel dan Fixed Tricube Kernel pada Kasus Covid-19 di Indonesia. *Jurnal Statistika Industri Dan Komputasi*, *9*(2), 28–38. https://doi.org/10.34151/statistika.v9i2.4854

Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis* (Fifth Edit). New Jersey: John Wiley & Sons Inc. https://doi.org/10.1201/b10289-6

Nachrowi, D. N., & Usman, H. (2006). *Pendekatan Populer dan Praktis Ekonometrika untuk Analisis Ekonomi dan Keuangan*. Jakarta: Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.

Nurahmi, A., Kencana, H., Jaya, T., Fatmawati, A., & Jati, D. (2024). Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pengangguran Terdidik di Pulau Jawa. *Prosiding Nasional UNARS*, *3*(1), 28–38.

Nurteta, S. (2021). Faktor dan Strategi Penanggulangan Pengangguran Terdidik di Provinsi Jambi. *Khazanah Intelektual*, *5*(2), 1086–1106.

Oktafiani, V., Susanti, D. S., & Rahkmawati, Y. (2024). Pemodelan Geographically Weighted Regression (GWR) Menggunakan Pembobot Kernel pada Kasus Tingkat Pengangguran Terbuka di Kalimantan. *RAGAM: Journal of Statistics & Its Application*, *3*(1), 124–138. https://doi.org/10.20527/ragam.v3i1.12822

Putra, R., Tyas, S. W., & Fadhlurrahman, M. G. (2022). Geographically Weighted Regression with The Best Kernel Function on Open Unemployment Rate Data in East Java Province. *Enthusiastic : International Journal of Applied Statistics and Data Science*, *2*(1), 26–36. https://doi.org/10.20885/enthusiastic.vol2.iss1.art4

Putri, F. R. G., & Suhartini, A. M. (2024). Pengaruh Pengaruh Bonus Demografi dan Industrialisasi Terhadap Pengangguran Terdidik Usia Muda di Indonesia Tahun 2018-2022. *Seminar Nasional Official Statistics*, *2024*(1), 269–278. https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2024i1.2152

Rahma, M., Musdalipah, Juliansyah, H., & Syafira, S. (2024). Pengaruh Inflasi, Produk Domestik Regional Bruto dan Investasi Terhadap Pengangguran Terdidik di Kota Lhoksemawe Tahun 2008-2022. *Jurnal Ekonomi Regional Indonesia Unimal*, *07*(1), 1–10.

Safitri, S. E., Triwahyuningtyas, N., & Sugianto, S. (2022). Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Tingkat Kemiskinan di Provinsi Banten. *SIBATIK JOURNAL: Jurnal Ilmiah Bidang Sosial, Ekonomi, Budaya, Teknologi, Dan Pendidikan*, *1*(4), 259–274. https://doi.org/10.54443/sibatik.v1i4.30