



Pemodelan Geographically Weighted Regression (GWR) pada Indeks Pembangunan Manusia di Pulau Papua

Geographically Weighted Regression (GWR) Modeling on Human Development Index in Papua Island

**Niskal Mentari^{1*}, Andi Tenri Ampa¹, Muhammad Ihwal¹, Ruslan¹,
Irma Yahya¹, Dian Christien Arisona¹**

¹Program Studi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Halu Oleo, Indonesia.

*niskalmentari@gmail.com

Diterima: 02 Januari 2026; Disetujui: 1 Februari 2026

Abstrak

Indeks Pembangunan Manusia (IPM) adalah indikator penting yang digunakan untuk mengukur pembangunan suatu wilayah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan pemodelan IPM serta mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi IPM di Pulau Papua dengan mempertimbangkan heterogenitas spasial. metode yang diterapkan dalam penelitian ini digunakan pendekatan geografis yaitu *Geographically Weighted Regression* (GWR) dalam memodelkan IPM. Variabel penelitian mencakup indeks pembangunan manusia di Pulau Papua sebagai variabel respons (Y), dan variabel prediktor (X) yaitu angka kematian bayi (X_1), persentase penduduk miskin (X_2), akses terhadap sanitasi layak (X_3), dan tingkat pengangguran terbuka (X_4). Model GWR merupakan pengembangan dari model regresi spasial dimana setiap parameter dihitung setiap lokasi pengamatan, sehingga setiap lokasi akan memiliki interpretasi yang berbeda-beda. Fungsi pembobot dalam pemodelan GWR ini adalah Fixed Kernel Gaussian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua variabel prediktor berpengaruh terhadap IPM di Pulau Papua. Model GWR didapatkan akurasi R^2 98,38% dan AIC 164,7. R^2 menunjukkan kemampuan menjelaskan 98,38% variabilitas data respon, dan nilai AIC 164,7 yang mencerminkan efisiensi serta kecocokan model terhadap data spasial. Dari parameter GWR terbentuk 9 kelompok dimana terdapat beberapa faktor yang berbeda-beda pada setiap daerah di kabupaten/kota yang ada di Pulau Papua.

Kata Kunci: Fixed Kernel Gaussian, Indeks Pembangunan Manusia, Papua.

Abstract

The Human Development Index (HDI) is an important indicator used to measure the development of a region. The HDI explains how residents can access the results of development in terms of income, health, and education. Papua Island has the lowest HDI of all provinces in Indonesia. The purpose of this study is to obtain an HDI model and identify the factors that influence the HDI on Papua Island, taking into account spatial heterogeneity.

this study uses a geographical approach, namely Geographically Weighted Regression (GWR), to model the HDI. The research variables include the human development index in Papua Island as the response variable (Y), and the predictor variables (X), namely infant mortality (X_1), percentage of poor population (X_2), access to proper sanitation (X_3), and open unemployment rate (X_4). The GWR model is a development of the spatial regression model where each parameter is calculated for each observation location, so that each location will have a different interpretation. The weighting function in this GWR modeling is Fixed Kernel Gaussian. The results show that all predictor variables affect the HDI on Papua Island. The GWR model obtained an accuracy of R^2 98.38% and AIC 164.7. R^2 shows the ability to explain 98.38% of the variability of the response data, and the AIC value of 164.7 reflects the efficiency and suitability of the model to spatial data. From the GWR parameters, nine groups were formed, with several different factors in each region in the districts/cities on Papua Island.

Keywords: Fixed Gaussian Kernel, Human Development Index, Papua

1. PENDAHULUAN

Metode analisis yang umum digunakan untuk mengetahui pengaruh beberapa variabel prediktor terhadap variabel respon adalah regresi linear berganda (Padilah & Adam, 2019). Regresi linier berganda merupakan suatu metode yang dapat menganalisis pengaruh variabel prediktor dengan variabel respon. Namun, analisis regresi linear berganda memiliki keterbatasan dalam estimasi parameter.

Heterogenitas spasial terjadi karena perbedaan kondisi wilayah baik dari segi geografis, sosial, budaya maupun hal-hal lain yang melatarbelakanginya. Dimana hukum pertama tentang geografi dikemukakan oleh Tobler (*Tobler's first law of geography*) dalam Schabenberger & Gotway (2005), yang menyatakan "*everything is related to everything else, but near things are more related than distant things*".

Model yang dapat mengatasi masalah heterogenitas spasial adalah *Geographically Weighted Regression* (GWR). Model GWR adalah model yang digunakan untuk menganalisa data spasial yang menghasilkan penduga parameter yang bersifat lokal untuk setiap titik atau lokasi dimana data tersebut dikumpulkan. Penaksir ini diperoleh dengan menggunakan metode *Weighted Least Square*

(WLS) yaitu dengan memberikan pembobot (*weighted*) yang berbeda pada setiap lokasi.

Pulau Papua sebagai bagian integral dari wilayah Indonesia, menyimpan kekayaan alam yang melimpah ruah dan beragam. Namun, di balik kekayaan alam yang melimpah ini, Papua masih menghadapi berbagai tantangan kompleks. Salah satu indikator yang paling sering digunakan untuk mengukur pembangunan suatu wilayah adalah Indeks Pembangunan Manusia (IPM).

IPM diperkenalkan oleh *United Nations Development Programme* (UNDP) pada tahun 1990 dan dipublikasikan secara berkala dalam laporan tahunan *Human Development Report* (HDR). IPM mempunyai tiga unsur yaitu kesehatan, pendidikan yang dicapai dan standar kehidupan atau sering disebut ekonomi.

IPM Papua, jika dibandingkan dengan rata-rata nasional, masih tergolong rendah. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, IPM Provinsi Papua tahun 2023 mencapai 63,01 dimana meningkat 0,85 poin (1,37 persen) dan IPM Provinsi Papua Barat pada tahun 2023 mencapai 67,47 dimana meningkat 0,75 poin (1,12 persen) lebih rendah dibandingkan dengan IPM Indonesia mencapai 74,39. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas hidup masyarakat Papua, yang mencakup aspek

kesehatan, pendidikan, dan standar hidup, masih perlu ditingkatkan secara signifikan.

Penelitian-penelitian sebelumnya telah menunjukkan keunggulan GWR dalam memodelkan IPM di berbagai wilayah di Indonesia. Penelitian oleh Putri *et al.* (2022) dan Satyaninggrat *et al.* (2023) menunjukkan bahwa model GWR memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan regresi linear berganda dalam menjelaskan variasi IPM.

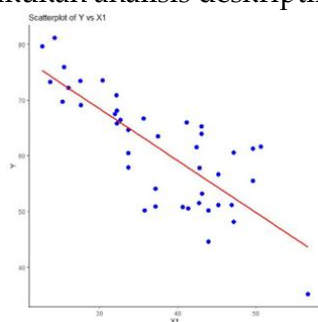
Penelitian ini dilakukan untuk pembentukan model pendugaan menggunakan metode GWR berdasarkan beberapa faktor yang diduga mempengaruhi IPM Pulau Papua menurut kabupaten/kota dengan mempertimbangkan pengaruh spasial."

2. METODE

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari publikasi BPS Provinsi Papua melalui website <https://papua.bps.go.id> dan publikasi BPS Provinsi Papua Barat melalui website <https://papuabarot.bps.go.id> pada tahun 2023. Unit pengamatan terdiri atas 42 kabupaten/kota di 6 provinsi. Penelitian ini melibatkan 5 variabel, yaitu variabel indeks pembangunan manusia (Y), variabel angka kematian bayi (X_1), variabel persentase penduduk miskin (X_2), variabel akses terhadap sanitasi layak (X_3), dan tingkat pengangguran terbuka (X_4).

Penelitian ini menggunakan metode *Geographically Weighted Regression* (GWR) dengan tahapan penelitian sebagai berikut.

1. Melakukan analisis deskriptif data.



a. Plot antara variabel Y dengan X_1

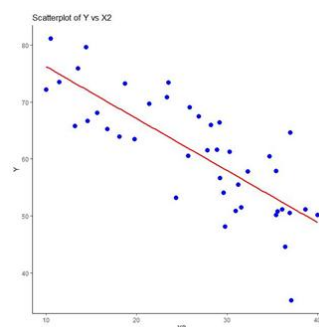
2. Melakukan uji asumsi regresi global dan uji signifikansi regresi global dengan uji simultan dan uji parsial.
3. Pengujian heterogenitas spasial.
4. Melakukan model GWR dengan langkah-langkah sebagai berikut:
 - a. Menghitung jarak Euclidean antar lokasi pengamatan berdasarkan posisi geografis.
 - b. Menentukan *bandwidth* optimum dengan metode Cross Validation.
 - c. Menghitung matriks pembobot menggunakan fungsi Kernel Gaussian.
 - d. Mendapatkan estimasi parameter untuk model GWR di setiap lokasi.
 - e. Melakukan pengujian kesesuaian model GWR.
 - f. Melakukan pengujian parsial pada parameter model GWR
5. Interpretasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

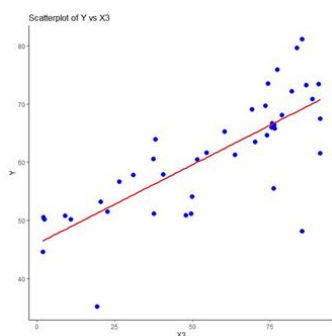
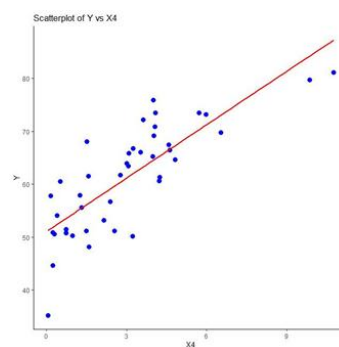
Deskripsi Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari satu variabel respon yaitu indeks pembangunan manusia serta empat variabel prediktor. Unit observasi pada penelitian ini yaitu 42 kabupaten/kota di Pulau Papua.

Untuk melihat hubungan linear antar variabel respon dan variabel prediktor ditunjukkan melalui plot pencar pada Gambar 1. Hal ini menunjukkan adanya korelasi antara variabel prediktor dengan variabel respon.



b. Plot antara variabel Y dengan X_2

c. Plot antara variabel Y dengan X_3 d. Plot antara variabel Y dengan X_4 **Gambar 1. Plot Pencar Variabel Respon dengan Variabel Prediktor**

Untuk mengetahui lebih lanjut mengenai karakteristik indeks pembangunan manusia beserta variabel-variabel yang mungkin mempengaruhi maka dilakukan analisis deskriptif pada Tabel 1.

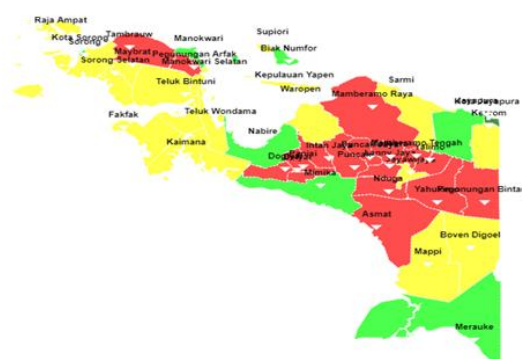
Tabel 1. Statistik Deskriptif Variabel Penelitian

Variabel	Min	Max	Rata-Rata	Simpangan Baku
Y	35,19	81,14	61,23	10,07
X_1	22,63	56,69	37,72	8,52
X_2	10,01	40,01	26,44	8,76
X_3	1,80	91,12	56,13	28,29
X_4	0,05	10,76	3,02	2,40

Tabel 1, menunjukan nilai indeks pembangunan manusia yang tersebar di 42 kabupaten/kota di Pulau Papua pada tahun 2023, dengan nilai IPM terendah 35,19 di Kab. Nduga dan nilai tertinggi 81,14 di Kota Jayapura. Dengan nilai rata-rata IPM di Pulau Papua adalah 61,23 dan nilai standar deviasi sebesar 10,07. Sedangkan variabel prediktor yang terdiri dari angka kematian bayi (X_1) memiliki simpangan baku yaitu 8,52. Persentase penduduk miskin (X_2) dengan simpangan baku yaitu 8,76. Akses terhadap sanitasi layak (X_3) memiliki simpangan baku terbesar yaitu 28,29. Tingkat pengangguran terbuka (X_4) memiliki simpangan baku terkecil yaitu sebesar 2,4.

Untuk mengetahui pengelompokan kabupaten/kota serta sebaran indeks

pembangunan manusia dapat menggunakan peta yang disajikan pada Gambar 2. Terdapat empat kategori warna yaitu warna merah merupakan golongan persentase rendah, warna kuning merupakan golongan persentase sedang, warna hijau muda merupakan golongan persentase tinggi sedangkan warna hijau tua merupakan golongan persentase sangat tinggi.

**Gambar 2. Sebaran IPM di Pulau Papua tahun 2023**

Sebaran IPM di Pulau Papua dapat dilihat dari pembagian ukuran dengan rentang nilai IPM yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kategori Indeks Pembangunan Manusia

Nilai	Status
$IPM < 60$	Rendah
$60 \leq IPM < 70$	Sedang
$70 \leq IPM < 80$	Tinggi
$IPM \geq 80$	Sangat tinggi

Sumber: BPS (2014)

Pada Gambar 2, menunjukkan ukuran status IPM di Pulau Papua menyebar secara beragam. Kota Jayapura dengan status IPM sangat tinggi di Pulau Papua lebih dari 79,9%. Kab. Merauke, Kab. Jayapura, Kab. Mimika, Kab. Nabire, Kab. Biak Numfor, Kota Sorong dan Kab. Manokwari adalah kabupaten/kota dengan status IPM tinggi di Pulau Papua berkisar antara 69,9% dan 79,9%.

Beberapa kabupaten/kota di Pulau Papua status IPM sedang, seperti Kab. Keerom, Kab. Boven Digoel, Kab. Mappi, Kab. Jayawijaya, Kab. Sarmi, Kab. Waropen, Kab. Kepulauan Yapen, Kab. Supiori, Kab. Kaimana, Kab. Fakfak, Kab. Teluk Wondama, Kab. Teluk Bintuni, Kab. Raja Ampat, Kab. Sorong Selatan, Kab. Sorong, Kab. Maybrat, dan Kab. Manokwari Selatan berkisar antara 59,9% dan 69,9%.

Selain itu, kabupaten/kota lainnya di Pulau Papua termasuk dalam status IPM rendah kurang dari 59,9% yaitu Kab. Pegunungan Bintang, Kab. Yahukimo, Kab. Yalimo, Kab. Asmat, Kab. Nduga, Kab. Lanny Jaya, Kab. Tolikara, Kab. Mamberamo Tengah, Kab. Puncak, Kab. Puncak Jaya, Kab. Intan Jaya, Kab. Paniai, Kab. Deiyai, Kab. Dogiyai, Kab. Mamberamo Raya, Kab. Tambrau, dan Kab. Pegunungan Arfak.

Pemodelan Regresi Linear Berganda

Pemodelan regresi berganda variabel prediktor terhadap variabel respon IPM (Y) secara umum dimodelkan dengan persamaan:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \varepsilon$$

Diduga menggunakan metode *Ordinary Least Square* (OLS) memberikan persamaan regresi:

$$\hat{Y} = 74,39023 - 0,36021X_1 - 0,31701X_2 + 0,08795X_3 + 1,28104X_4$$

Dengan X_1 adalah angka kematian bayi, X_2 adalah persentase penduduk miskin, X_3 adalah akses terhadap sanitasi layak dan X_4 adalah tingkat pengangguran terbuka.

Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk menguji sebaran data pada sebuah kelompok data atau variabel, apakah sebaran data tersebut berdistribusi normal atau tidak. Untuk melakukan uji normalitas digunakan uji *Kolmogorov-Smirnov* dengan hipotesis sebagai berikut:

H_0 : residual berdistribusi normal

H_1 : residual tidak berdistribusi normal

Pengambilan keputusan adalah tolak H_0 jika $|D| > q(1 - \alpha)$ atau nilai- $p < \alpha$ dengan $\alpha = 5\%$. Hasil pengujian menunjukkan $D(0.086) < 0,210(1-0,05)$ dan nilai- $p(0.598) > \alpha(0,05)$ yang menunjukkan bahwa terima H_0 yang berarti diperoleh keputusan galat berdistribusi normal.

Uji Multikolinearitas

Uji multikolinearitas dilakukan untuk mengetahui apakah ada korelasi antara variabel bebas. Dengan melihat nilai *variance inflation factor* (VIF). Hipotesis yang digunakan adalah:

H_0 : tidak terdapat hubungan antar variabel prediktor

H_1 : terdapat hubungan antar variabel prediktor

Hasil pengujian multikolinearitas disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Uji Multikolinearitas

Variabel	VIF	Keterangan
X1	1,86	Tidak terjadi multikolinearitas
X2	2,05	Tidak terjadi multikolinearitas
X3	1,90	Tidak terjadi multikolinearitas
X4	1,98	Tidak terjadi multikolinearitas

Dengan pengambilan keputusan tolak H_0 jika nilai VIF > 10 artinya terjadi multikolinearitas. Hasil pengujian menunjukkan nilai VIF masing-masing variabel adalah $X_1(1,86)$, $X_2(2,05)$, $X_3(1,90)$,

dan X_4 (1,98) dimana nilai VIF kurang dari 10 artinya terima H_0 maka dapat disimpulkan bahwa data yang digunakan tidak mengandung multikolinearitas.

Uji Autokorelasi

Jika terjadi adanya autokorelasi dalam suatu model regresi maka variansi sampel tidak dapat menggambarkan variansi populasinya. Untuk mendiagnosis adanya autokorelasi dalam suatu model regresi dilakukan melalui pengujian *Durbin-Watson*. Hipotesis yang digunakan adalah:

$H_0 : \rho = 0$ (tidak terdapat autokorelasi)

$H_1 : \rho \neq 0$ (terdapat autokorelasi)

Tabel 4. Uji Durbin-Watson

Nilai d	dL	du	$4-dL$	$4-du$
2,0009	1,3064	1,7202	2,6936	2,2798

Tabel 4, keputusan yang diambil adalah terima H_0 yang artinya data tidak mengandung autokorelasi, dimana nilai nilai $d = 2,0009$ berada diantara nilai $du=1,7202$ dan nilai $4-du=2,2798$ ($du < d < 4 - du$).

Uji Homokedastisitas

Uji homokedastisitas digunakan untuk mengetahui apakah dalam sebuah model regresi terjadi ketidaksamaan variansi dari galat antara satu pengamatan ke pengamatan lain. Uji homokedastisitas dapat dilakukan dengan uji *Glejser*

Hipotesis yang digunakan adalah:

H_0 : tidak ada gejala heterokedastisitas

H_1 : ada gejala heterokedastisitas

Hasil uji homokedastisitas menggunakan uji *Glejser* dengan nilai- p adalah 0,1573. Pengambilan keputusan H_0 diterima jika $F_{hit} < F_{(0,05;4,42-4-1)}$ dimana didapatkan nilai $F_{hit}(2,23) < F_{tabel}(2.626052)$ atau jika nilai- $p > \alpha$ (0,05) dimana hasil analisis menunjukan nilai- p (0,1573) $> \alpha$ (0,05). Sehingga H_0 diterima yang artinya bahwa model regresi tidak mengandung heteroskedastisitas dengan taraf nyata $\alpha = 5\%$.

Uji Linearitas

Uji linearitas digunakan untuk mengetahui apakah hubungan variabel prediktor dan variabel respon bersifat linear. Hipotesis yang digunakan adalah:

H_0 hubungan antara variabel : prediktor dan respon bersifat linear

H_1 : hubungan antara variabel prediktor dan respon tidak bersifat linear

Hasil uji linearitas menggunakan uji *Ramsey Reset* didapatkan pada hubungan variabel respon dengan variabel prediktor X_1 , X_2 , X_3 , dan X_4 dengan nilai- p (0,129) (0,7448) (0,6634) (0,1333) $> \alpha$ (0,05) artinya masing-masing variabel prediktor memiliki hubungan linear pada variabel respon dengan menggunakan taraf nyata $\alpha = 5\%$.

Tabel 5. Analisis Varians Regresi Global

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Rata-Rata Kuadrat	Fhitung	Ftabel
Regresi	4	3706,12	926,53	76,19	2,63
Galat	37	450,08	12,16		
Total	41	4156,2			

Uji Simultan Model Global

Uji simultan digunakan untuk menguji apakah semua variabel prediktor secara bersama-sama memberikan pengaruh yang signifikan terhadap variabel respon.

H_0 : $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4$ (Tidak terdapat variabel prediktor yang berpengaruh terhadap indeks pembangunan manusia di Pulau Papua tahun 2023).

H_1 : $\beta_k \neq 0, k = 1,2,3,4$ (Minimal ada satu variabel prediktor yang berpengaruh

terhadap indeks pembangunan manusia di Pulau Papua tahun 2023).

Nilai $F_{hitung} = 76,17 > F_{tabel (0,05,4,37)} = 2,63$ atau nilai- $p (0,000) < \alpha (0,05)$ yang artinya H_0 ditolak. Jadi dapat disimpulkan bahwa terdapat minimal satu variabel prediktor yaitu variabel angka kematian bayi (X_1), variabel persentase penduduk miskin (X_2), akses terhadap sanitasi layak (X_3), dan variabel tingkat pengangguran terbuka (X_4) berpengaruh secara signifikan terhadap indeks pembangunan manusia pada tahun 2023.

Uji Parsial Model Global

Uji parsial digunakan untuk menguji pengaruh signikansi setiap variabel prediktor secara individu terhadap variabel respon. Hipotesis uji parsial sebagai berikut: $H_0: \beta_k = 0, k = 1,2,3,4$ (Variabel prediktor tidak berpengaruh secara signifikan terhadap indeks pembangunan manussia di Pulau Papua tahun 2023).

$H_1: \beta_k \neq 0, k = 1,2,3,4$ (Variabel prediktor berpengaruh secara signifikan terhadap indeks pembangunan manussia di Pulau Papua tahun 2023)

Tabel 6. Uji Parsial Regresi Global

Variabel	t_{hitung}	Nilai- p	Kesimpulan
X_1	-4,127	0,000	Signifikan
X_2	-3,559	0,001	Signifikan
X_3	3,309	0,002	Signifikan
X_4	4,006	0,000	Signifikan

Pengambilan keputusannya adalah H_0 ditolak jika $t_{hit} > t_{(\frac{\alpha}{2}, n-k-1)}$ atau jika $p_{value} < \alpha$ dengan $\alpha = 5\%$. Berdasarkan nilai- p Tabel 6. hasil uji parsial angka kematian bayi (X_1), persentase penduduk miskin (X_2), akses terhadap sanitasi layak (X_3), dan akses terhadap sanitasi layak (X_4) tolak H_0 artinya secara signifikan berpengaruh terhadap indeks pembangunan manusia di Pulau Papua tahun 2023.

Koefisien determinasi (R^2) pada model regresi linear berganda sebesar 88%. Kondisi seperti mengartikan bahwa variansi variabel prediktor yang digunakan dalam model mampu menjelaskan sebesar 88% variabel indeks pembangunan manusia, sisanya dipengaruhi atau dijelaskan oleh variabel lain yang tidak terdapat dalam penelitian ini. Model regresi ini memiliki nilai AIC sebesar 230,8044.

Pengujian Aspek Spasial

Uji Autokorelasi Spasial

Uji autokorelasi spasial bertujuan untuk mengidentifikasi apakah ada ketergantungan antar kabupaten/kota terhadap variabel respon atau tidak. Hipotesis yang digunakan adalah:

$H_0: I = 0$ (tidak terdapat autokorelasi spasial)

$H_1: I \neq 0$ (terdapat autokorelasi spasial)

Hasil uji *Moran's I* menunjukkan bahwa tolak H_0 , dengan nilai $p = 0,000 < \alpha (0,05)$. Ini menunjukkan bahwa ada autokorelasi spasial antar kabupaten/kota di Pulau Papua. Pola spasial yang terbentuk adalah pola yang terkelompok dengan autokorelasi positif, karena nilai indeks Morannya positif dan melebihi nilai harapan I .

Uji Heterogenitas Spasial

Pengujian heterogenitas spasial dilakukan untuk mengetahui adanya keberagaman dala hubungan secara wilayah. Heterogenitas spasial diidentifikasi dengan melakukan pengujian *Breusch Pagan*. Hipotesis yang digunakan adalah:

$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_{42}^2$ (homogenitas)

H_1 : minimal terdapat satu $\sigma_i^2 \neq \sigma^2$ (heterogenitas)

Berdasarkan statistik uji diperoleh nilai BP sebesar 13,973 dan nilai- p sebesar 0,007. Pengambilan keputusan H_0 ditolak jika $BP > X_k^2$ atau jika $p_{value} < \alpha$ dengan $\alpha = 5\%$, dimana diperoleh nilai $X_k^2 = 9,488$. Hasil melakukan uji *Breusch Pagan*

didapatkan nilai $BP(13,973) > X_k^2(9,488)$ atau nilai- $p(0,007) < \alpha(0,05)$ maka disimpulkan tolak H_0 atau terdapat heterogenitas spasial pada pengamatan.

Hasil pengujian yang diperoleh dari uji heterogenitas spasial menunjukkan bahwa variabel yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilakukan pemodelan menggunakan *Geographically Weighted Regression* (GWR).

Pemodelan *Geographically Weighted Regression*

Setelah aspek spasial terpenuhi maka selanjutnya dilakukan estimasi parameter yang berpengaruh signifikan terhadap IPM, pada pemodelan IPM kabupaten/kota di Pulau Papua menggunakan metode *Geographically Weighted Regression* (GWR) dikarenakan adanya heterogenitas spasial atau adanya pengaruh letak geografis terhadap model.

Fakfak

$$d_{ij} = \sqrt{(132.29364 - 132.29364)^2 + (-2.92891 - (-2.92891))^2} = 0$$

Kaimana

$$d_{ij} = \sqrt{(132.29364 - 133.73999)^2 + (-2.92891 - (-3.63968))^2} = 1.611559$$

Teluk Wondama

$$d_{ij} = \sqrt{(132.29364 - 134.53578)^2 + (-2.92891 - (-2.82732))^2} = 2.24444$$

Dengan menggunakan cara yang sama, keseluruhan jarak *Euclidean* dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Jarak *Euclidean*

Kabupaten/Kota	d_{ij}
Fakfak	0
Kaimana	1.611559
Teluk Wondama	2.24444
Teluk Bintuni	1.6933528
Manokwari	2.684124
Jayawijaya	6.7517538
Jayapura	8.1918968
Nabire	3.239471
Kepulauan Yapen	4.0821462
Biak Numfor	4.1839176
Paniai	4.2502761
Puncak Jaya	5.748605
Mimika	4.8090031
Nduga	6.3302736
Lanny Jaya	6.2335217

Kabupaten/Kota	d_{ij}
Mamberamo Tengah	6.80775
Yalimo	7.14025
Sorong Selatan	1.4696821
Sorong	2.1507449
Raja Ampat	2.9061726
Tambrau	2.1463702
Maybrat	1.6842872
Manokwari Selatan	2.3539521
Pegunungan Arfak	2.281732
Kota Sorong	2.2815069
Merauke	9.848791
Boven Digoel	8.630746
Mappi	7.89384
Asmat	6.4003963
Yahukimo	7.4872891
Pegunungan Bintang	8.573753
Tolikara	6.2255423
Sarmi	6.4915378
Keerom	8.4498031
Waropen	4.1433653
Supiori	4.0815763
Mamberamo Raya	5.7832525
Puncak	5.4488476
Dogiyai	3.8933071
Intan Jaya	4.8191414
Deiyai	4.1545372
Kota Jayapura	8.4069764

Penentuan *Bandwidth*

Penentuan *bandwidth* yang akan digunakan dengan memilih *bandwidth* optimum. Penentuan nilai *bandwidth* yang sangat kecil akan menyebabkan varians menjadi semakin besar. Sebaliknya nilai *bandwidth* yang besar menimbulkan bias yang semakin besar. Dalam menentukan *bandwidth* optimum digunakan fungsi *Kernel Fixed Gaussian*. Dalam proses iterasi sehingga didapatkan nilai *Cross Validation* (CV) yang paling minimum sebesar 378,3628 dan nilai *bandwidth* 1,091584.

Tabel 8. Fungsi Pembobot Kernel Gaussian

Kabupaten/ Kota	$w_{ij} = \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{d_{ij}}{h} \right)^2 \right]$
Fakfak	1

Kabupaten/ Kota	$W_{ij} = \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{d_{ij}}{h} \right)^2 \right]$
Kaimana	0.336282649
Teluk Wondama	0.120773558
Teluk Bintuni	0.300221318
Manokwari	0.048647352
Jayawijaya	4.92545E-09
Jayapura	5.89513E-13
Nabire	0.012233716
Kepulauan Yapen	0.000918742
Biak Numfor	0.000645484
Paniai	0.000510376
Puncak Jaya	9.49871E-07
Mimika	6.10184E-05
Nduga	4.98052E-08
Lanny Jaya	8.29466E-08
Mamberamo Tengah	3.58159E-09
Yalimo	5.11572E-10
Sorong Selatan	0.403990598
Sorong	0.143555217
Raja Ampat	0.028896379
Tambrau	0.144692095
Maybrat	0.304103718
Manokwari Selatan	0.097768804
Pegunungan Arfak	0.112515365
Kota Sorong	0.112563873
Merauke	2.10432E-18
Boven Digoel	2.66133E-14
Mappi	4.40787E-12
Asmat	3.42444E-08
Yahukimo	6.07861E-11
Pegunungan Bintang	4.01597E-14
Tolikara	8.64801E-08
Sarmi	2.09151E-08
Keerom	9.73478E-14
Waropen	0.000743748
Supiori	0.000920538
Mamberamo Raya	8.03251E-07
Puncak	3.88465E-06
Dogiyai	0.001728458
Intan Jaya	5.85695E-05
Deiyai	0.000715372
Kota Jayapura	1.31792E-13

Uji Kesesuaian Model GWR

Pengujian kesesuaian model yang diperlukan untuk mengetahui apakah model GWR sudah tepat digunakan. Hipotesis yang digunakan adalah:

$H_0: \beta_k(u_i, v_i) = \beta_k, k = 1,2,3,4$ artinya tidak ada perbedaan yang signifikan antara model regresi global dengan GWR

$H_1: \beta_k(u_i, v_i) \neq \beta_k$ artinya terdapat perbedaan signifikan antara model regresi global dan GWR.

Perbedaan yang signifikan antara model GWR dengan menentukan uji F , diperoleh nilai F_{hitung} sebesar 6,6664 dan nilai- p 0,000. Untuk $F_{tabel(0,05;37;11,37)} = 2,541$. Dimana $F_{hitung} (6,6664) > F_{tabel} (2,541)$. Maka dapat disimpulkan bahwa hasil analisis yang telah dilakukan dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95% diperoleh keputusan tolak H_0 yang artinya GWR sudah tepat digunakan dalam melihat variansi IPM di kabupaten/kota Pulau Papua atau paling sedikit ada satu $\beta_k(u_i, v_i)$ atau ada perbedaan yang signifikan antara model regresi global dan GWR (Ampa *et al.*, 2022). Koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh pada model *Geographically Weighted Regression* (GWR) sebesar 98,38% dan nilai AIC yang diperoleh sebesar 164,7141.

Pengujian Parameter Model GWR

Pengujian parameter model GWR dilakukan dengan menguji parameter secara parsial yang digunakan untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap variansi IPM yang ada di Pulau Papua pada setiap kabupaten/kota dengan hipotesis:

$H_0: \beta_k(u_i, v_i) = 0, k = 1,2,3,4$. artinya tidak ada pengaruh signifikan dari variabel prediktor antara satu kabupaten/kota dengan kabupaten/kota lainnya

$H_1: \beta_k(u_i, v_i) \neq 0$ dengan $k = 1,2,3,4$. artinya ada pengaruh signifikan dari variabel prediktor antara satu kabupaten/kota dengan kabupaten/kota lainnya

Adapun statistik uji yang digunakan adalah yang ditampilkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Uji Masing-Masing Parameter GWR Setiap Kabupaten/Kota

Kabupaten/ Kota	Nilai- <i>p</i>			
	X_1	X_2	X_3	X_4
Fakfak	0,374	0,086	0,452	0,006
Kaimana	0,567	0,325	0,002	0,034
Teluk Wondama	0,269	0,054	0,009	0,010
Teluk Bintuni	0,049	0,120	0,476	0,010
Manokwari	0,019	0,067	0,740	0,017
Jayawijaya	0,000	0,225	0,032	0,000
Jayapura	0,000	0,004	0,463	0,089
Nabire	0,072	0,001	0,002	0,019
Kepulauan Yapen	0,082	0,004	0,002	0,002
Biak Numfor	0,152	0,043	0,038	0,010
Paniai	0,001	0,007	0,015	0,009
Puncak Jaya	0,000	0,156	0,032	0,000
Mimika	0,000	0,048	0,023	0,003
Nduga	0,000	0,251	0,039	0,000
Lanny Jaya	0,000	0,238	0,031	0,000
Mamberamo Tengah	0,000	0,124	0,035	0,000
Yalimo	0,000	0,065	0,041	0,000
Sorong Selatan	0,035	0,178	0,993	0,011
Sorong	0,076	0,330	0,893	0,023
Raja Ampat	0,128	0,464	0,866	0,053
Tambrau	0,011	0,274	0,781	0,010
Maybrat	0,018	0,225	0,949	0,009
Manokwari Selatan	0,037	0,043	0,610	0,014
Pegunungan Arfak	0,023	0,066	0,675	0,013
Kota Sorong	0,084	0,362	0,878	0,027
Merauke	0,361	0,392	0,533	0,032
Boven Digoel	0,000	0,395	0,628	0,000
Mappi	0,000	0,980	0,922	0,000
Asmat	0,000	0,476	0,104	0,000
Yahukimo	0,000	0,236	0,175	0,000
Pegunungan Bintang	0,000	0,007	0,904	0,000
Tolikara	0,000	0,235	0,031	0,000
Sarmi	0,000	0,119	0,083	0,000
Keerom	0,000	0,003	0,498	0,103
Waropen	0,032	0,001	0,002	0,001
Supiori	0,159	0,051	0,387	0,025
Mamberamo Raya	0,000	0,247	0,062	0,000
Puncak	0,000	0,097	0,030	0,001
Dogiyai	0,006	0,003	0,011	0,023
Intan Jaya	0,000	0,023	0,027	0,002
Deiyai	0,001	0,007	0,014	0,012
Kota Jayapura	0,000	0,005	0,570	0,114

Suatu parameter dikatakan signifikan jika nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$ atau nilai- $p < \alpha$ dengan $\alpha = 0,05$. Nilai t_{tabel} diperoleh sebesar 2,026 artinya apabila t_{hitung} pada masing-masing parameter $> 2,026$ atau nilai- $p < 0,05$ maka variabel prediktor tersebut memberikan pengaruh terhadap variansi IPM di kabupaten/kota tersebut.

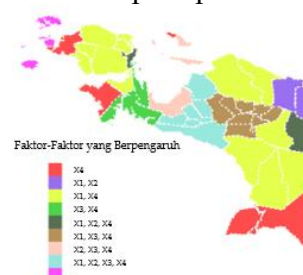
Pengelompokkan Variabel Signifikan

Berdasarkan variabel yang berpengaruh secara signifikan tersebut dapat dibentuk menjadi 9 kelompok yang disajikan dalam Tabel 10.

Tabel 10. Signifikansi Variabel Setiap Kabupaten/Kota

No	Kabupaten/Kota	Variabel Signifikan
1	Fakfak, Sorong, Merauke, Sorong dan Supiori	X_4
2	Jayapura, Keerom dan Jayapura	X_1 dan X_2
3	Asmat, Boven Digoel, Mamberamo Raya, Manokwari, Mappi, Maybrat, Pegunungan Arfak, Sarmi, Sorong Selatan, Tambrau, Teluk Bintuni, dan Yahukimo	X_1 dan X_4
4	Kaimana dan Teluk Wondama	X_3 dan X_4
5	Manokwari Selatan dan Pegunungan Bintang	X_1, X_2 dan X_4
6	Jayawijaya, Lanny Jaya, Nduga, Mamberamo Tengah, Puncak, Puncak Jaya, Tolikara, dan Yalimo	X_1, X_3 dan X_4
7	Biak Numfor, Kepulauan Yapen dan Nabire	X_2, X_3 dan X_4
8	Deiyai, Dogiyai, Intan Jaya, Mimika, Paniai dan Waropen	X_1, X_2, X_3 , dan X_4
9	Raja Ampat	-

Berdasarkan Tabel 10 variabel yang berpengaruh secara signifikan yang dibentuk menjadi 9 kelompok disajikan juga dalam bentuk peta pada Gambar 3.

**Gambar 3. Peta Variabel Signifikan terhadap IPM di Kabupaten/Kota**

Pembentukan Model GWR

Pemodelan GWR untuk masing-masing Kabupaten/Kota akan berbeda. Penaksiran parameter untuk mengamati hubungan antar variabel respon dan variabel prediktor berdasarkan nilai koefisien dengan metode *Weighted Least Square* (WLS) yang digunakan untuk menaksirkan parameter.

Model *Geographically Weighted Regression* (GWR) dapat ditulis sebagai berikut:

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \beta_1(u_i, v_i)X_{i1} + \dots + \beta_k(u_i, v_i)X_{ik} + \varepsilon_i$$

Model lengkap GWR yang dibentuk untuk masing-masing Kabupaten/Kota berdasarkan variabel yang signifikan mempengaruhinya ditampilkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Model GWR yang Terbentuk untuk Setiap Kabupaten/Kota

Kabupaten/ Kota	Model GWR
Fakfak	$Y = 68,483 + 1,227X_4$
Kaimana	$Y = 59,3 + 0,113X_3 + 1,251X_4$
Teluk Wondama	$Y = 64.782 + 0.092X_3 + 1.395X_4$
Teluk Bintuni	$Y = 71.283 - 0.209X_1 + 1.274X_4$
Manokwari	$Y = 75.232 + 1.245X_4$
Jayawijaya	$Y = 85.031 - 0.789 X_1 + 0.063 X_3 + 1.562X_4$
Jayapura	$Y = 94.829 - 0.691X_1 - 0.529X_2$
Nabire	$Y = 69.789 - 0.393X_2 + 0.124X_3 + 1.264X_4$
Kepulauan Yapen	$Y = 69.399 - 0.355X_2 + 0.106X_3 + 1.534X_4$
Biak Numfor	$Y = 71.096 - 0.339X_2 + 0.078X_3 + 1.502X_4$
Paniai	$Y = 77.840 - 0.431X_1 - 0.350X_2 + 0.098X_3 + 1.591X_4$
Puncak Jaya	$Y = 84.859 - 0.776X_1 + 0.065X_3 + 1.669X_4$
Mimika	$Y = 81.684 - 0.622X_1 - 0.242X_2 + 0.083X_3 + 1.835X_4$
Nduga	$Y = 85.487 - 0.807X_1 + 0.061X_3 + 2.017X_4$
Lanny Jaya	$Y = 84.818 - 0.794X_1 + 0.066X_3 + 1.630X_4$
Mamberamo Tengah	$Y = 85.498 - 0.769X_1 + 0.066X_3 + 1.274X_4$
Yalimo	$Y = 86.812 - 0.762X_1 + 0.062X_3 + 1.168X_4$
Sorong Selatan	$Y = 74.411 - 0.253X_1 + 1.383X_4$
Sorong	$Y = 75.677 + 1.425X_4$
Raja Ampat	$Y = 77.513$
Tambrauw	$Y = 76.532 - 0.305X_1 + 1.385X_4$
Maybrat	$Y = 75.505 - 0.279X_1 + 1.338X_4$
Manokwari Selatan	$Y = 73.233 - 0.219X_1 - 0.220X_2 + 1.310X_4$
Pegunungan Arfak	$Y = 74.039 - 0.244X_1 + 1.274X_4$
Kota Sorong	$Y = 76.040 + 1.418X_4$
Merauke	$Y = 68.418 + 3.656X_4$
Boven Digoel	$Y = 84.397 - 0.753X_1 + 3.582X_4$
Mappi	$Y = 79.484 - 0.790X_1 + 4.193X_4$
Asmat	$Y = 83.133 - 0.792X_1 + 2.807X_4$
Yahukimo	$Y = 85.971 - 0.784X_1 + 2.204X_4$
Pegunungan Bintang	$Y = 91.486 - 0.691X_1 - 0.381X_2 + 1.526X_4$
Tolikara	$Y = 84.428 - 0.785X_1 + 0.067X_3 + 1.534X_4$
Sarmi	$Y = 82.698 - 0.682X_1 + 1.267X_4$
Keerom	$Y = 95.511 - 0.690X_1 - 0.546X_2$
Waropen	$Y = 70.247 - 0.239X_1 - 0.360X_2 + 0.108X_3 + 1.556X_4$

Kabupaten/ Kota	Model GWR
Supiori	$Y = 74.301 - 0.348X_2 + 1.441X_4$
Mamberamo Raya	$Y = 80.763 - 0.693X_1 + 1.571X_4$
Puncak	$Y = 85.175 - 0.755X_1 + 0.067X_3 + 1.754X_4$
Dogiyai	$Y = 75.485 - 0.337X_1 - 0.388X_2 + 0.109X_3 + 1.447X_4$
Intan Jaya	$Y = 82.173 - 0.607X_1 - 0.267X_2 + 0.076X_3 + 1.729X_4$
Deiyai	$Y = 77.178 - 0.407X_1 - 0.359X_2 + 0.102X_3 + 1.564X_4$
Kota Jayapura	$Y = 95.645 - 0.686X_1 - 0.559X_2$

4. KESIMPULAN

Pemodelan indeks pembangunan manusia di Pulau Papua dengan menggunakan metode *Geographically Weighted Regression* (GWR) didapatkan 34 model lokal di setiap kabupaten/kota. faktor-faktor yang mempengaruhi Indeks Pembangunan Manusia (IPM) di kabupaten/kota Pulau Papua tahun 2023 yang diperoleh adalah angka kematian bayi (X_1), persentase penduduk miskin (X_2), akses terhadap sanitasi layak (X_3) dan tingkat pengangguran terbuka (X_4) yang berbeda di tiap lokasi.

Model GWR dengan fungsi pembobot *fixed* kernel gaussian. diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 98,38%. Sehingga dapat dikatakan variabel yang digunakan pada model mampu menjelaskan IPM di Pulau Papua sebesar 98,38%.

DAFTAR PUSTAKA

Ampa, A.T., Budiantara, I.N., & Zain, I. (2022). Modeling the Level of

Drinking Water Clarity in Surabaya City Drinking Water Regional Company using Combined Estimation of Multivariable Fourier Series and Kernel. *Sustainability*, 14(20): 13663.

Putri, F.E., Abapihi, B., & Ruslan, A. (2022). Pemodelan Indeks Pembangunan Manusia di Indonesia dengan Pendekatan Geographically Weighted Regression. *Seminar Nasional Sains dan Terapan VI*, 6: 34-49.

Satyaningrat, L.M.W., Simatupang, S.A. W.D., & Kurniawan, E. (2023). Implementasi Multiple Regression dan Geographically Weighted Regression Guna Pemodelan Indeks Pembangunan Manusia Provinsi Bali tahun 2019. *Equiva Journal*, 1(1).

Schabenberger O., & Gotway, C.A. (2005). *Statistical Methods for Spatial Data Analysis*. Chapman & Hall/CRC. 66 hlm