
**Analisis Pertumbuhan Ekonomi Provinsi Jawa Timur
Beserta Faktor-Faktornya Menggunakan Model
*Robust Geographically Weighted Regression-Pendugaan M***

Halimah Nur Mushaharah^{*}, Rosita Kusumawati, Bayutama Isnaini
Program Studi Statistika, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

**Corresponding author:* halimahnur.2019@student.uny.ac.id

Submitted: 15-Jul-2024

Revised: 23-Jan-2025

Accepted: 25-Jan-2025

Abstract. *Economic growth is a successful benchmark of nation-building and plays a role in a nation's welfare. Economic growth in districts/cities measured by gross regional domestic product at constant prices (GRDP constant prices). East Java is the second province after DKI Jakarta as the biggest contributor to the Indonesian economy in 2022 with 5.34% economic growth rate values calculated by GRDP constant prices. However, East Java's economic growth has gaps. As 23 of 38 districts/cities in East Java have economic growth values lower than national economic growth. Glaring gaps could be identified as an outlier and it could happen by many factors. This study aims to model economic growth and its factors with a robust analysis model against an outlier called robust geographically weighted regression-M estimation (RGWR-M). This study used secondary data from BPS Provinsi Jawa Timur and KEMENKEU's SIKD data portal namely HDI, public health center, population density, economic activity, capital expenditure, and GRDP constant prices in East Java Province in 2022. The result showed that RGWR-M is the best model when an outlier is detected compared to OLS and GWR in analyzing factors that are suspected to affect economic growth in East Java Province in 2022 with 2,124.14 MAD's values. RGWR-M model produces six mapping groups of significantly influential variables and one group of uninfluential variables. The groups formed to have different parameter estimation results in each district/cities.*

Keywords: *GRDP constant prices; outlier; RGWR-M.*

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan ekonomi merupakan peningkatan perekonomian bangsa menuju arah yang lebih baik dan diperoleh dari satu periode. Pertumbuhan ekonomi secara tersirat akan membantu dalam peningkatan pendapatan akibat dari berkembangnya perekonomian di dalam masyarakat [1]. Hal ini akan membantu bangsa dalam meningkatkan kualitas hidup bangsa dengan tidak terdapat kesenjangan sosial dan sesuai dengan cita-cita bangsa Indonesia yaitu kesejahteraan bangsa yang tercantum dalam pembukaan UUD 1945 alinea keempat.

Pertumbuhan ekonomi diukur melalui produk domestik bruto atau produk domestik regional bruto atas dasar harga konstan (PDB/PDRB ADHK) yang merupakan nilai tambah baik barang maupun jasa sebagai hasil dari unit produksi pada suatu wilayah berdasar pada harga di satu tahun tertentu yang telah ditetapkan sebagai tahun dasar [2,3]. Keduanya merupakan indikator pengukuran pertumbuhan ekonomi dengan perbedaan pada cakupan wilayah. Wilayah

pada PDB ADHK adalah negara, sedangkan pada PDRB ADHK adalah kabupaten/kota maupun daerah.

Pada tahun 2022 pertumbuhan ekonomi Indonesia yang diukur melalui PDB ADHK mencapai angka 5,31%, lebih baik 1,61% dibanding tahun sebelumnya dan sebanyak 56,48% dipengaruhi oleh perekonomian di Pulau Jawa [4]. Provinsi Jawa Timur adalah salah satu provinsi di Pulau Jawa yang menjadi penyumbang perekonomian terbesar kedua di tahun 2022 setelah DKI Jakarta dengan nilai pertumbuhan ekonomi sebesar 5,34% [5]. Nilai pertumbuhan ekonomi tersebut mengalahkan nilai pertumbuhan ekonomi nasional dan menunjukkan trend positif dalam tiga tahun terakhir (2020, 2021, dan 2022) sebesar $-2,33\%$, $3,56\%$ dan $5,34\%$ [6,7].

Trend positif Provinsi Jawa Timur ini mengindikasikan pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat di Provinsi Jawa Timur baik dan setara. Akan tetapi, pertumbuhan ekonomi di tiap kabupaten/kota Provinsi Jawa Timur jauh dari istilah setara. Sebanyak 23 dari 38 kabupaten/kota di Provinsi Jawa Timur memiliki nilai pertumbuhan ekonomi di bawah pertumbuhan ekonomi nasional dan sebanyak 24 dari 38 kabupaten/kota di Provinsi Jawa Timur memiliki nilai pertumbuhan ekonomi di bawah pertumbuhan ekonomi Provinsi Jawa Timur. Perbedaan signifikan yang terjadi pada setiap kabupaten/kota dapat terjadi akibat berbagai faktor yang berbeda di setiap wilayah.

Faktor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi pada penelitian sebelumnya antara lain indeks pembangunan manusia (IPM), jumlah puskesmas, kepadatan penduduk, angkatan kerja, dan belanja modal [8, 10, 11, 12]. Kelima faktor penduga tersebut masing-masing memiliki pengaruh yang berbeda terhadap pertumbuhan ekonomi, pengaruh yang ditimbulkan berupa pengaruh negatif maupun pengaruh positif. Kelima faktor tersebut selanjutnya digunakan sebagai variabel prediktor dan dapat dianalisis berdasarkan titik dari setiap kabupaten/kota di Provinsi Jawa Timur dengan analisis *robust geographically weighted regression*-pendugaan M (RGWR-M).

Analisis RGWR-M merupakan bentuk kekar atau *robust* dari *geographically weighted regression* (GWR) apabila terdeteksi pencilan atau suatu nilai yang berbeda jauh dari keseluruhan data. Analisis GWR diperlukan saat terjadi heteroskedastisitas pada *ordinary least square* (OLS) dan apabila terdeteksi pencilan perlu dikekarkan agar tidak terjadi hasil yang bias menggunakan RGWR-M. Analisis RGWR-M bersifat lokal atau pendugaan parameter yang dihasilkan berbeda antara satu kabupaten/kota dengan kabupaten/kota lainnya.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk memodelkan RGWR-M dengan menguji keefektifitas pendugaannya serta memetakan pendugaannya pada pertumbuhan ekonomi yang diwakilkan melalui nilai produk domestik regional bruto atas dasar harga konstan (PDRB ADHK) terhadap variabel prediktornya di Provinsi Jawa Timur pada tahun 2022. Variabel prediktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah IPM, jumlah puskesmas, kepadatan penduduk, angkatan kerja, dan belanja modal. Variabel respon dalam penelitian ini menggunakan PDRB ADHK.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Regresi Linear Berganda

Regresi linear berganda merupakan metode statistika yang digunakan untuk mengetahui pengaruh atau hubungan antara satu variabel respon dengan dua atau lebih variabel prediktor. Secara matematis, model regresi linear berganda dinyatakan dalam rumus sebagai berikut [13]:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i \quad (1)$$

dengan y_i merupakan variabel respon untuk pengamatan ke- i , β_0 merupakan koefisien *intercept* atau konstanta, β_k merupakan koefisien regresi yang dimiliki oleh variabel prediktor ke- k , x_{ik} merupakan variabel prediktor ke- k untuk pengamatan ke- i , dan ε_i merupakan residual dengan asumsi distribusi $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$.

Metode *ordinary least square* (OLS) merupakan sebuah metode yang berguna dalam menghasilkan nilai parameter β dari Persamaan (1). Metode ini merupakan metode yang difokuskan pada meminimuman jumlah kuadrat residual atau galat. Formula pendugaan parameter OLS dalam notasi matriks adalah [13]:

$$\hat{\beta} = (\mathbf{x}'\mathbf{x})^{-1}\mathbf{x}'\mathbf{y} \tag{2}$$

2.2 Uji Non-Heteroskedastisitas Spasial

Heteroskedastisitas merupakan suatu kondisi varian residual yang tidak konstan atau tidak sama dalam pengamatan model. Heteroskedastisitas pada data spasial disebut heteroskedastisitas spasial, yaitu kondisi varian residual yang tidak sama dalam data spasial antara satu lokasi dengan lainnya. Pengujian ada atau tidaknya heteroskedastisitas spasial dapat diuji salah satunya dengan uji *Breusch-Pagan-Godfrey* (BPG) dengan prosedur sebagai berikut:

1. Hipotesis

$H_0: a_1 = a_2 = a_3 = \dots = a_i = 0$ (tidak terjadi heteroskedastisitas)

$H_1: \exists a_i \neq 0; i = 1, 2, 3, \dots, n$ (terjadi heteroskedastisitas)

2. Statistik Uji [13]

$$\Theta_{BPGtes} = \frac{1}{2}(JKR) \sim \chi_{db}^2 \tag{3}$$

dengan jumlah kuadrat regresi (JKR), $JKR = \sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2$ dan χ_{db}^2 merupakan kriteria keputusan distribusi *chi-square* dengan derajat bebas (db) sebesar $(\alpha, k - 1)$, α merupakan taraf signifikansi atau 0,05 dan k merupakan jumlah variabel prediktor.

3. Kriteria Keputusan

Penolakan H_0 terjadi apabila statistik uji $\Theta_{BPGtes} > \chi_{\alpha, k-1}^2$ atau $p - value < \alpha$.

2.3 Geographically Weighted Regression (GWR)

Geographically weighted regression (GWR) merupakan satu dari banyaknya analisis regresi spasial yang memanfaatkan data spasial informasi titik guna mendapat penduga parameter lokal pada tiap lokasi sebagai pengembangan dari regresi OLS. Penduga parameter model GWR sebagai berikut [14]:

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = (\mathbf{x}'\mathbf{w}(u_i, v_i)\mathbf{x})^{-1}\mathbf{x}'\mathbf{w}(u_i, v_i)\mathbf{y} \tag{4}$$

di dalam Persamaan (4), \mathbf{x} , \mathbf{w} , dan \mathbf{y} merupakan matriks yang berukuran berbeda yang secara berurutan merupakan peubah penjelas, pembobot lokasi, dan peubah respon. Lokasi yang dimaksud ditandai dengan u_i (koordinat garis bujur) dan v_i (koordinat garis lintang).

Pemodelan GWR menggunakan pembobot spasial yang diawali dari perhitungan *Bandwidth* untuk penentuan fungsi pembobot spasial. *Bandwidth* merupakan ukuran parameter yang digunakan sebagai parameter penghalus dalam GWR. *Bandwidth* optimum diperoleh melalui nilai minimum dari *cross validation* (CV). Rumus CV adalah sebagai berikut [14]:

$$CV = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{\neq i}(b))^2 \tag{5}$$

di mana i menunjukkan lokasi pengamatan ke- i , b menunjukkan *bandwidth* atau radius ke titik pusat, y_i menunjukkan variabel respon untuk pengamatan ke- i , dan $\hat{y}_{\neq i}(b)$ merupakan nilai prediksi variabel respon dengan tidak melibatkan pengamatan ke- i .

Fungsi pembobot spasial dengan bantuan *fixed kernel* dibagi menjadi empat fungsi, sebagai berikut:

1. *Gaussian* [14]

$$w_j(u_i, v_i) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{d_{ij}}{b}\right)^2\right] \quad (6)$$

2. *Eksponensial* [15]

$$w_j(u_i, v_i) = \exp\left[-\left(\frac{d_{ij}}{b}\right)\right] \quad (7)$$

3. *Bisquare* [14,16]

$$w_j(u_i, v_i) = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{d_{ij}}{b}\right)^2\right)^2 & , \text{jika } d_{ij} \leq b \\ 0 & , \text{lainnya} \end{cases} \quad (8)$$

4. *Tricube* [17]

$$w_j(u_i, v_i) = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{d_{ij}}{b}\right)^3\right)^3 & , \text{jika } d_{ij} \leq b \\ 0 & , \text{lainnya} \end{cases} \quad (9)$$

b merupakan bandwidth dan d_{ij} adalah jarak *Euclidean*, $d_{ij} = \sqrt{(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2}$ [18].

2.4 Pendeteksian Pencilan (*Outlier*) Spasial

Outlier atau pencilan merupakan data yang melenceng jauh dari kumpulan data dan menyebabkan model tidak dapat mempresentasikan hasil analisis yang sesungguhnya. Pencilan dalam data spasial sedikit berbeda dengan pencilan umum, hal ini dikarenakan pencilan pada data spasial juga terpengaruh jarak [19]. Salah satu pendeteksian pencilan adalah menggunakan grafik *scatter plot* dengan cara membandingkan sumbu x (nilai hasil prediksi GWR (\hat{y})) dan sumbu y (nilai sisaan GWR ($\hat{\epsilon}$)), pencilan terdeteksi apabila terdapat data yang tidak berada pada kerumunan data secara menyeluruh.

2.5 Robust Geographically Weighted Regression (RGWR)

Regresi *robust* merupakan salah satu cara penanganan pencilan ketika pencilan ditemukan pada data yang akan diregresikan. Model GWR yang terdeteksi adanya *outlier* atau pencilan dapat diatasi dengan menggunakan *robust geographically weighted regression*. Metode pendugaan dalam regresi *robust* salah satunya adalah pendugaan M (pendugaan yang bertumpu atau menggunakan nilai maksimum likelihood). *Robust geographically weighted regression*-pendugaan M (RGWR-M) menggunakan iterasi yang dinamakan *iteratively reweighted least-squares* (IRLS) memanfaatkan hasil pendugaan parameter model GWR sebagai penduga parameter awal atau $\hat{\beta}(u_i, v_i)$ RGWR-M untuk memperoleh pendugaan parameter. Pendugaan parameter model RGWR-M dengan IRLS membutuhkan beberapa tahapan, yaitu [20]:

1. Menetapkan penduga parameter awal $\hat{\beta}(u_i, v_i)$ yang diperoleh dari penduga parameter model GWR sebagai tahap iterasi awal.

2. Menghitung nilai prediksi $\hat{y}_i = x_i' \hat{\beta}(u_i, v_i)$ untuk memperoleh nilai sisaan $\varepsilon_i = \hat{y}_i - y_i$ yang digunakan dalam pembentukan pembobot *robust Tukey Bisquare*.
3. Menghitung pembobot *robust Tukey Bisquare* $w_{i\beta} = \left[1 - \left(\frac{e_i}{c}\right)^2\right]^2$, nilai $e_i = \frac{\varepsilon_i}{s}$ dengan $s = \frac{\text{median}\{|\varepsilon_i - \text{median}(\varepsilon_i)|\}}{0,6745}$ dan c merupakan *tuning constant* dengan nilai 4,685.
4. Menghitung matriks pembobot RGWR-M (\mathbf{W}) dengan mengalikan pembobot *robust Tukey Bisquare* ($w_{i\beta}$) dengan pembobot GWR (w_i).
5. Melakukan pendugaan parameter RGWR-M dengan:

$$\hat{\beta}(u_i, v_i)^Q = (\mathbf{x}'\mathbf{W}\mathbf{x})^{-1} \mathbf{x}'\mathbf{W}\mathbf{y} \quad (10)$$
 dengan Q merupakan banyaknya iterasi.
6. Ulangi tahapan 2.5(2.) hingga 2.5(5.), pengulangan berhenti apabila $\hat{\beta}(u_i, v_i)^Q$ konvergen yaitu selisih $\hat{\beta}(u_i, v_i)^Q$ dengan $\hat{\beta}(u_i, v_i)^{Q-1}$ mendekati nol.

2.6 Efektivitas Pembentukan Model RGWR-M

Pemilihan model terbaik dapat memanfaatkan nilai terkecil *mean absolute deviation* (MAD) sebagai kriteria pemilihan model. Metode MAD mengadaptasikan nilai *mean* atau rata-rata dari nilai prediksi atau hasil pendugaan parameter dengan data aktual. Pengadaptasian nilai *mean* dalam MAD akan menghasilkan nilai kesalahan prediksi sesuai data aktual (absolut) sehingga MAD digunakan karena memberikan hasil nilai prediksi yang jelas dan sederhana serta mudah diinterpretasikan. Rumus MAD sebagai berikut [21]:

$$\text{MAD} = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|}{n} \quad (11)$$

2.7 Pengujian Signifikansi Parameter

Pengujian signifikansi parameter merupakan pengujian yang ditujukan untuk melihat ada pengaruh atau tidaknya tiap-tiap variabel prediktor dengan variabel respon di setiap lokasi. Hipotesis dalam pengujian parameter signifikansi parameter ini adalah:

1. Hipotesis
 - $H_0: \beta(u_i, v_i)_k = 0$ (tidak ada pengaruh antara variabel prediktor ke- k terhadap variabel respon)
 - $H_1: \beta(u_i, v_i)_k \neq 0$ (ada pengaruh antara variabel prediktor ke- k terhadap variabel respon)
2. Statistik Uji [22]

$$t_{hitung}(u_i, v_i) = \frac{\hat{\beta}(u_i, v_i)_k}{\sqrt{\frac{JKG_{RGWR}}{\delta_1} (\mathbf{C}\mathbf{C}')}} \quad (12)$$

dengan:

$$\begin{aligned} \hat{\beta}(u_i, v_i)_k &= (\mathbf{x}'\mathbf{W}\mathbf{x})^{-1} \mathbf{x}'\mathbf{W}\mathbf{y} \\ JKG_{RGWR} &= \mathbf{y}'(\mathbf{I} - \mathbf{S})'(\mathbf{I} - \mathbf{S})\mathbf{y} \\ \delta_1 &= \text{tr}[(\mathbf{I} - \mathbf{S})'(\mathbf{I} - \mathbf{S})] \\ \mathbf{C} &= (\mathbf{x}'\mathbf{W}\mathbf{x})^{-1} \mathbf{x}'\mathbf{W} \\ \mathbf{I} &: \text{matriks identitas} \end{aligned}$$

$$S = \begin{pmatrix} x_1' (x'Wx)^{-1} x'W \\ x_2' (x'Wx)^{-1} x'W \\ \vdots \\ x_n' (x'Wx)^{-1} x'W \end{pmatrix} \text{ yang merupakan matriks proyektor data aktual (y)}$$

menjadi hasil pendugaan parameter model (\hat{y}) di tiap lokasi (u_i, v_i).

3. Kriteria Keputusan

Penolakan H_0 terjadi apabila nilai $|t_{hitung}(u_i, v_i)| > t_{(\frac{\alpha}{2}; n-k-1)}$, yang berarti parameter $\beta(u_i, v_i)_k$ memiliki pengaruh terhadap model RGWR-M.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari *website* hasil publikasi BPS (Badan Pusat Statistik) di Provinsi Jawa Timur dan tabel dinamis dari *website* portal data SIKD (sistem informasi keuangan daerah) yang dimiliki KEMENKEU (Kementerian Keuangan Republik Indonesia) [23,24]. Fokus penelitian pada kabupaten/kota di Provinsi Jawa Timur di tahun 2022. Variabel prediktor yang digunakan adalah IPM, jumlah puskesmas, kepadatan penduduk, angkatan kerja, dan belanja modal dan variabel respon adalah PDRB ADHK.

Teknik analisis data yang digunakan adalah *robust geographically weighted regression* dengan pendugaan-M (RGWR-M). Bantuan perangkat lunak *RStudio* membuat analisis RGWR-M dapat berjalan. Analisis data dengan RGWR-M memiliki tahapan sebagai berikut:

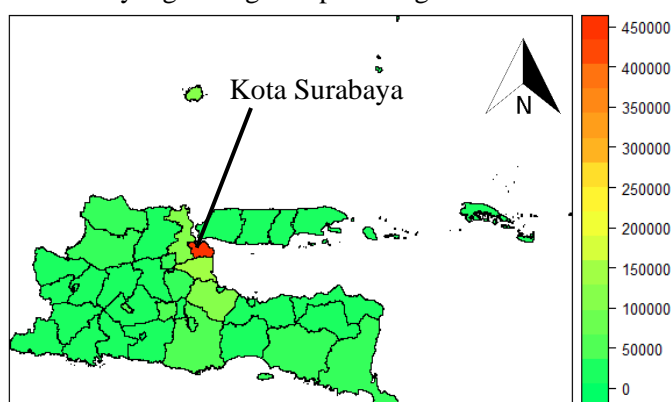
1. Melakukan pendeteksian multikolinieritas antar variabel prediktor dengan bantuan nilai *variance inflation factor* (VIF) dan pendeteksian korelasi setiap variabel prediktor dengan variabel respon menggunakan korelasi *pearson*.
2. Melakukan pendugaan parameter model OLS dengan bantuan fungsi *lm()* pada *RStudio*.
3. Menguji non-heteroskedastisitas model OLS dengan pengujian *Breusch-Pagan-Godfrey*. Apabila mengalami heteroskedastisitas, maka lanjut ke langkah empat. Apabila heteroskedastisitas tidak terjadi maka digunakan model regresi berganda (OLS).
4. Pembentukan model GWR dilalui dengan tahapan berikut:
 - a. Menghitung jarak *Euclidean* menggunakan *latitude* dan *longitude* pusat pemerintahan antara kabupaten/kota satu dengan kabupaten/kota lainnya.
 - b. Menentukan fungsi kernel yang optimum dengan membandingkan nilai CV dari masing-masing fungsi kernel dan memilihnya berdasar CV terkecil yang dimiliki fungsi kernel.
 - c. Membentuk matriks pembobot spasial dari fungsi kernel terpilih dan diaplikasikan pada setiap kabupaten/kota yang satu dengan yang lain.
 - d. Melakukan pendugaan parameter model GWR pada setiap kabupaten/kota.
5. Mendeteksi ada atau tidaknya pencilan dengan membandingkan residual model GWR dan \hat{y}_{GWR} menggunakan *scatterplot*. Apabila terdeteksi pencilan, maka model RGWR-M digunakan (tahapan 6), apabila tidak terdeteksi pencilan maka model GWR digunakan.
6. Pembentukan model RGWR-M dengan bantuan IRLS dan pembobot *Tukey Bisquare* memiliki tahapan pendugaan parameter model RGWR-M sebagai berikut:
 - a. Menggunakan penduga parameter model GWR dari tahapan 4 sebagai penduga parameter model untuk iterasi awal.
 - b. Menghitung nilai prediksi dengan mengalikan nilai setiap prediktor terhadap nilai penduga parameter model untuk memperoleh nilai sisaan yang digunakan dalam perhitungan pembobot *robust Tukey Bisquare*.
 - c. Menghitung pembobot *robust Tukey Bisquare*.

- d. Menghitung matriks pembobot RGWR-M dengan mengalikan pembobot *robust Tukey Bisquare* terhadap pembobot *eksponensial kernel GWR*.
 - e. Menghitung penduga parameter model RGWR-M.
 - f. Mengulangi tahapan 6(b.) hingga 6(e.), pengulangan berhenti apabila penduga parameter model RGWR-M konvergen.
7. Membandingkan efektivitas model RGWR-M dengan memerhatikan nilai MAD antara OLS dan GWR.
 8. Mengidentifikasi faktor yang berpengaruh dengan pengujian parameter secara parsial pada model RGWR-M guna mengetahui variabel prediktor mana yang memengaruhi PDRB ADHK di tiap kabupaten/kota Provinsi Jawa Timur.
 9. Menginterpretasikan hasil yang didapatkan dari model RGWR-M.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Data

Pada Gambar 1, Kota Surabaya dengan nilai PDRB ADHK tertinggi ditunjukkan dalam warna merah. Kota Surabaya merupakan kota besar dengan perekonomian dan pendidikan yang baik ditunjukkan dari nilai PDRB tertinggi sebesar Rp434.268 miliar dan jumlah sekolah dan perguruan tinggi terbanyak sebesar 2.536 unit [23]. Warna merah di Kota Surabaya juga mengindikasikan adanya perbedaan nilai yang besar dibandingkan kabupaten/kota lain yang dapat teridentifikasi sebagai pencilon yang berpengaruh pada hasil pendugaan parameter apabila digunakan model regresi biasa. Perbandingan nilai yang besar selain dilihat pada Gambar 1, dapat dilihat melalui enam variabel yang dirangkum pada ringkasan statistik data di Tabel 1.



Gambar 1. Peta persebaran PDRB ADHK di Jawa Timur tahun 2022 (miliar rupiah)

Pada Tabel 1, memuat ringkasan statistik data yang didalamnya terdapat informasi tentang ciri atau karakter dari setiap variabel pada data yang digunakan.

Tabel 1. Ringkasan statistik data

Variabel (satuan)	Minimum	Maksimum	Standar Deviasi	Rata-rata
IPM / x_1 (%)	63,39	82,74	5,08	72,97
Jumlah Puskesmas / x_2 (unit)	3	63	12,83	25,50
Kepadatan Penduduk / x_3 (jiwa/km ²)	414	8595	2347,28	2071,11
Angkatan Kerja / x_4 (jiwa)	72362	1643314	378370,30	601816
Belanja Modal / x_5 (miliar rupiah)	112,3	1766	323,90	422,10
PDRB ADHK / y (miliar rupiah)	5182	434268	73028,96	46260

Berdasarkan Tabel 1, variabel IPM (x_1) memiliki rata-rata 72,97% yang dalam kelompok capaian pembangunan manusia termasuk dalam kategori tinggi yaitu $70 \leq \text{IPM} < 80$ [25]. Variabel jumlah puskesmas (x_2) dengan rata-rata $25,5 \approx 26$ unit melebihi rata-rata nasional sebesar 21 unit dari total 10.374 unit tersebar di 514 kabupaten/kota [26]. Variabel kepadatan penduduk (x_3) dengan rata-rata 2.071,11 jiwa/km² berarti di setiap kilometer persegi dari luas setiap wilayah terdapat rata-rata 2.071,11 jiwa dan termasuk dalam kelompok kedua kepadatan penduduk terbanyak nasional dengan rentang 500 – 1.000 jiwa/km² bersama Provinsi Bali [26]. Tabel 2 menunjukkan rata-rata angkatan kerja (x_4) sebanyak 601.816 jiwa atau sebanyak 55% dari rata-rata jumlah penduduk pada setiap kabupaten/kota di Provinsi Jawa Timur (1.082.895 jiwa) merupakan angkatan kerja [23]. Rata-rata belanja modal (x_5) bernilai Rp422,10 miliar yang berarti setiap kabupaten atau kota di Provinsi Jawa Timur mengeluarkan anggaran dengan rata-rata Rp422,10 miliar untuk penambahan dan peningkatan aset yang bermanfaat dengan jangka waktu melebihi satu tahun anggaran.

Pada Tabel 1, nilai terkecil IPM sebesar 63,39% berada di Kabupaten Sampang dan nilai terbesar sebesar 82,74% berada di Kota Surabaya. Jumlah puskesmas yang paling sedikit sebesar 3 unit di Kota Blitar sedangkan jumlah puskesmas paling banyak sebesar 63 unit di Kota Surabaya. Kabupaten Pacitan memiliki jumlah penduduk paling sedikit sebesar 414 jiwa/km² sedangkan Kota Surabaya memiliki jumlah penduduk paling padat sebesar 8.595 jiwa/km². Angkatan kerja paling sedikit berada di Kota Mojokerto dengan jumlah 72.362 jiwa dan paling banyak berada di Kota Surabaya dengan jumlah 1.643.314 jiwa. Kota Batu memiliki belanja modal terkecil sebesar Rp112,3 miliar dan Kota Surabaya memiliki belanja modal terbesar sebesar Rp1.766 miliar. Lalu untuk PDRB ADHK terkecil sebesar Rp5.182 miliar dimiliki Kota Blitar sedangkan Kota Surabaya memiliki nilai PDRB ADHK terbesar sebesar Rp434.268 miliar. Kota Surabaya yang memiliki nilai PDRB ADHK terbesar di Provinsi Jawa Timur pada Tabel 1 juga digambarkan sebagai sebuah kota yang memiliki warna paling berbeda dibandingkan kabupaten/kota lainnya di Gambar 1 yang dapat teridentifikasi sebagai sebuah pencilan.

Kelima variabel prediktor ini perlu diketahui korelasi yang terbentuk, baik antara variabel prediktor dengan variabel respon maupun dengan variabel prediktor lainnya. Korelasi merupakan ukuran kekuatan hubungan antara variabel satu dengan variabel lain [27]. Korelasi *Pearson* merupakan salah satu teknik korelasi dalam melihat kekuatan hubungan antara satu variabel prediktor dan satu variabel respon. Kekuatan hubungannya dikategorikan menjadi lima, 0,00 – 0,199 sangat rendah, 0,20 – 0,399 rendah, 0,40 – 0,599 sedang, 0,60 – 0,799 kuat, dan 0,80 – 1 sangat kuat [28]. Berdasarkan Tabel 2, IPM dan kepadatan penduduk memiliki korelasi positif yang rendah, jumlah puskesmas memiliki korelasi positif yang sedang, dan angkatan kerja serta belanja modal memiliki korelasi positif yang kuat.

Tabel 2. Koefisien korelasi antara variabel prediktor dengan PDRB ADHK

Variabel	Korelasi
IPM (x_1)	0,391
Jumlah Puskesmas (x_2)	0,590
Kepadatan Penduduk (x_3)	0,387
Angkatan Kerja (x_4)	0,665
Belanja Modal (x_5)	0,779

Pendeteksian korelasi antar variabel prediktor berbeda dengan pendeteksian korelasi yang dilakukan pada setiap variabel prediktor dengan variabel respon. Pendeteksian korelasi antar variabel prediktor penting karena menentukan bias atau tidaknya model dengan bantuan nilai VIF.

Pada Tabel 3, nilai VIF setiap prediktor kurang dari 10 sehingga tidak terdapat multikolinearitas atau antar variabel prediktor tidak berkorelasi dan model terhindar dari bias.

Tabel 3. Nilai VIF dari variabel prediktor

IPM (x_1)	Jumlah Puskesmas (x_2)	Kepadatan Penduduk (x_3)	Angkatan Kerja (x_4)	Belanja Modal (x_5)
2,25	5,56	2,37	5,66	3,17

4.2 Pemodelan Analisis Regresi Linear Berganda

Hasil analisis regresi linear berganda dengan OLS dengan bantuan fungsi $lm()$ dalam program *RStudio* ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil analisis regresi linear berganda

Variabel (satuan)	Pendugaan	Standar Error	$t - value$	$p - value$
(Intercept)	-327700	128900	-2,54	0,02 *
IPM / x_1 (%)	3563	1796	1,98	0,06
Jumlah Puskesmas / x_2 (unit)	1299	1116	1,16	0,25
Kepadatan Penduduk / x_3 (jiwa/km ²)	8,09	3,98	2,03	0,05
Angkatan Kerja / x_4 (jiwa)	0,05	0,04	1,38	0,18
Belanja Modal / x_5 (miliar rupiah)	76,67	33,39	2,29	0,03 *

catatan: “*” signifikan dalam taraf signifikansi 0,05

Variabel yang memiliki pengaruh signifikan terhadap PDRB ADHK dilihat melalui $p - value$. Pada Tabel 4, variabel dengan $p - value$ lebih rendah dari taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ adalah belanja modal dengan dampak positif atau pengaruh yang ditimbulkan berbanding lurus dengan PDRB ADHK. Hasil parameter regresi linear berganda OLS untuk pendugaan pengaruh pada persebaran PDRB ADHK di Jawa Timur tahun 2022 berdasarkan Tabel 4 sebagai berikut:

$$\hat{y}_{PDRB} = -327700 + 3563x_1 + 1299x_2 + 8,09x_3 + 0,05x_4 + 76,67x_5$$

4.3 Uji Asumsi Non-Heteroskedastisitas

Pengujian asumsi non-heteroskedastisitas merupakan alat validitas regresi linear berganda untuk mengetahui beragam atau tidaknya varian residual dalam model. Heteroskedastisitas berarti varian residual beragam. Nilai $p - value$ yang dihasilkan dengan uji *Breusch-Pagan-Godfrey* adalah 0,00 atau lebih kecil dari nilai taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ maka terjadi heteroskedastisitas sehingga regresi linear berganda tidak dapat dilanjutkan. Kondisi ini dapat ditangani dengan bantuan GWR yang menggunakan titik lokasi sebagai pembobot.

4.4 Pemodelan Geographically Weighted Regression (GWR)

Pemodelan *geographically weighted regression* (GWR) diawali dengan menghitung jarak *Euclidean* yang merupakan jarak antara data yang digunakan dengan *centroid* atau pusat dari setiap data (*longitude latitude*) pusat pemerintahan antara kabupaten/kota satu dengan yang lainnya. Pemodelan dilanjutkan dengan fungsi pembobot kernel, *fixed kernel* digunakan dalam penelitian ini dan *bandwidth* atau ukuran parameter penghalus dalam GWR yang digunakan dipilih berdasar nilai *cross validation* (CV) terkecil. Pada Tabel 5, nilai CV terkecil dimiliki fungsi *fixed kernel eksponensial* yang selanjutnya digunakan sebagai fungsi pembobot kernel dalam GWR.

Tabel 5. Perbandingan fungsi kernel dengan nilai CV

Fungsi Kernel	Fixed Bandwidth	Nilai CV
Gaussian	3,5223	176278883358

Fungsi Kernel	Fixed Bandwidth	Nilai CV
<i>Eksponensial</i>	0,1343	130660797118
<i>Bisquare</i>	1,2589	139004687737
<i>Tricube</i>	3,5223	181004809554

Pembentukan GWR dengan *fixed kernel eksponensial* yang telah dihitung fungsi pembobotnya memperoleh pendugaan parameter model yang ditunjukkan dalam Tabel 6.

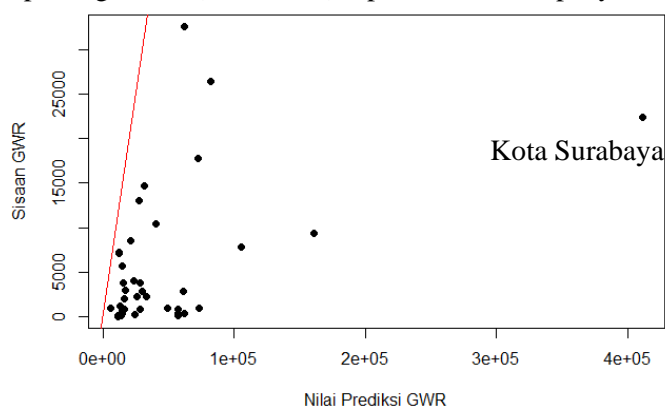
Tabel 6. Ringkasan penduga parameter model GWR

Variabel	Minimum	Median	Rata-rata	Maksimum
(Intercept)	-0,63	-0,00	-0,09	0,67
IPM / x_1 (%)	-46,89	0,00	-6,25	51,59
Jumlah Puskesmas / x_2 (unit)	-5,61	-0,00	-0,19	8,10
Kepadatan Penduduk / x_3 (jiwa/km ²)	-7,81	2,00	4,17	30,79
Angkatan Kerja / x_4 (jiwa)	-0,08	0,02	0,02	0,09
Belanja Modal / x_5 (miliar rupiah)	-15,96	18,17	70,22	343,50

Pendugaan parameter model GWR pada Tabel 6 bersifat lokal atau berbeda antara kabupaten/kota satu dengan lainnya. Tabel 6 memperlihatkan seberapa besar variabel prediktor dalam memengaruhi variabel respon. Sebagai contoh, variabel IPM dengan nilai penduga parameter minimum sebesar -46,89 (Kabupaten Sidoarjo) dan maksimum sebesar 51,59 (Kota Blitar) yang berarti secara umum kenaikan satu persen IPM memiliki pengaruh terhadap rata-rata PDRB di tiap kabupaten/kota berkisar dari Rp-46,89 hingga Rp51,59 miliar.

4.5 Pendeteksian Pencilan

Pendeteksian pencilan dilakukan guna menyelidiki persebaran PDRB di Kota Surabaya yang sangat berbeda dengan kabupaten/kota lain di Provinsi Jawa Timur. Pendeteksian pencilan memanfaatkan plot pencar atau *scatter plot* dengan sumbu y merupakan residual model GWR dan sumbu x merupakan \hat{y}_{GWR} atau hasil prediksi GWR. Pada Gambar 2, Kota Surabaya tidak berada dalam kerumunan dot atau titik. Hal ini menunjukkan terjadinya pencilan pada model, sehingga RGWR pendugaan-M (RGWR-M) diperlukan dalam penyelesaian masalah.



Gambar 2. Plot nilai prediksi terhadap nilai sisaan GWR

4.6 Pemodelan *Robust Geographically Weighted Regression M-Estimation* (RGWR-M)

Prosedur pendugaan parameter RGWR pendugaan-M (RGWR-M) memanfaatkan pembobot tambahan *tukey bisquare*. Pembobot tambahan ini diperlukan untuk mencari penduga parameter dengan bantuan iterasi yang bernama *iteratively reweighted least squares* (IRLS). Pendugaan parameter model RGWR-M pada Tabel 7 bersifat lokal atau berbeda antara kabupaten/kota satu dengan lainnya. Tabel 7 memperlihatkan seberapa besar variabel prediktor

dalam memengaruhi variabel respon. Sebagai contoh, IPM memiliki nilai penduga parameter minimum sebesar $-68,87$ (Kota Mojokerto) dan maksimum sebesar $3,74$ (Kota Madiun). Nilai penduga parameter tersebut secara umum berarti kenaikan satu persen IPM memiliki pengaruh terhadap rata-rata PDRB di tiap kabupaten/kota berkisar dari Rp $-68,87$ hingga Rp $3,74$ miliar.

Tabel 7. Ringkasan penduga parameter model RGWR-M

Variabel	Minimum	Median	Rata-rata	Maksimum
(Intercept)	$-0,94$	$-0,00$	$-0,13$	$0,04$
IPM / x_1 (%)	$-68,87$	$-0,00$	$-9,04$	$3,74$
Jumlah Puskesmas / x_2 (unit)	$-4,47$	$0,00$	$-0,29$	$8,93$
Kepadatan Penduduk / x_3 (jiwa/km ²)	$-10,25$	$0,31$	$3,13$	$63,34$
Angkatan Kerja / x_4 (jiwa)	$-0,09$	$0,03$	$0,02$	$0,07$
Belanja Modal / x_5 (miliar rupiah)	$-129,67$	$0,07$	$55,93$	$359,44$

4.7 Efektivitas Pembentukan Model RGWR-M

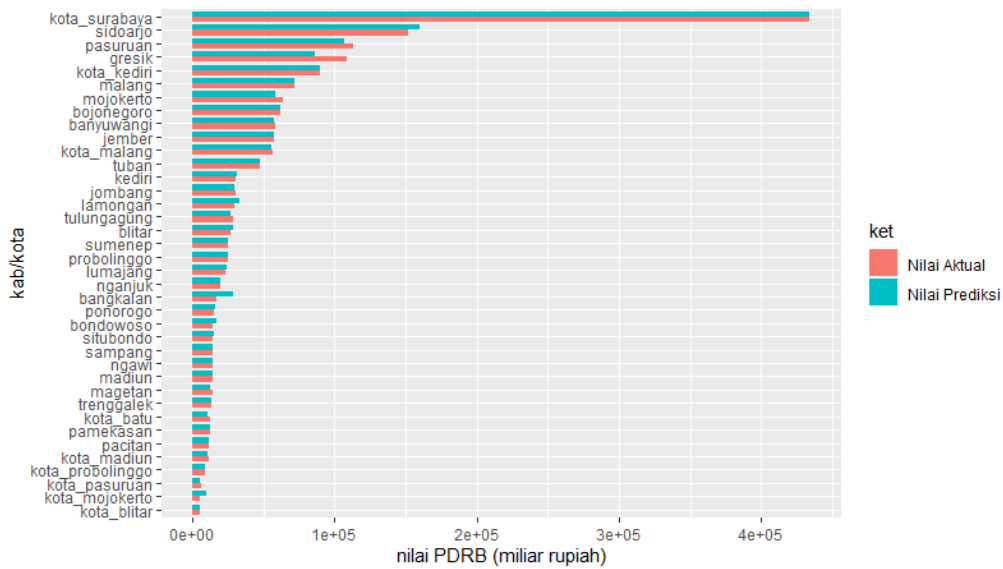
Model yang terbentuk pada penelitian ini adalah OLS, GWR, dan RGWR-M. Ketiga model tersebut dibandingkan guna mengetahui efektivitas model RGWR-M. Efektivitas suatu model memanfaatkan nilai akurasi yang disebut *mean absolute deviation* (MAD). Efektivitas model dipilih berdasarkan nilai MAD terkecil. Pada Tabel 8, model yang memiliki nilai MAD terkecil adalah RGWR-M, sehingga RGWR-M merupakan model yang paling efektif dalam mengatasi permasalahan yang ada.

Tabel 8. Perbandingan nilai MAD model OLS, GWR, dan RGWR-M

Model	MAD
OLS	26787,31
GWR	5738,21
RGWR-M	2124,14

4.8 Perbandingan PDRB ADHK Hasil RGWR-M dengan Data Aktual

Model RGWR-M merupakan model terbaik melalui perbandingan nilai MAD. Selain MAD, visualisasi model yang merepresentasikan model terbaik RGWR-M dengan data aktual dari PDRB ADHK ditampilkan melalui diagram batang atau *bar chart* pada Gambar 3 dengan warna oranye mewakili hasil prediksi RGWR-M dan biru mewakili data aktual. Pada Gambar 3, nilai prediksi hasil RGWR-M yang nilainya lebih besar daripada nilai aktual sebanyak 17 buah. Nilai yang terjadi menunjukkan model tak bias sehingga model RGWR-M tepat digunakan dalam memprediksi model dengan baik.



Gambar 3. Perbandingan antara nilai prediksi RGWR-M dengan nilai aktual PDRB ADHK di setiap kabupaten/kota Provinsi Jawa Timur

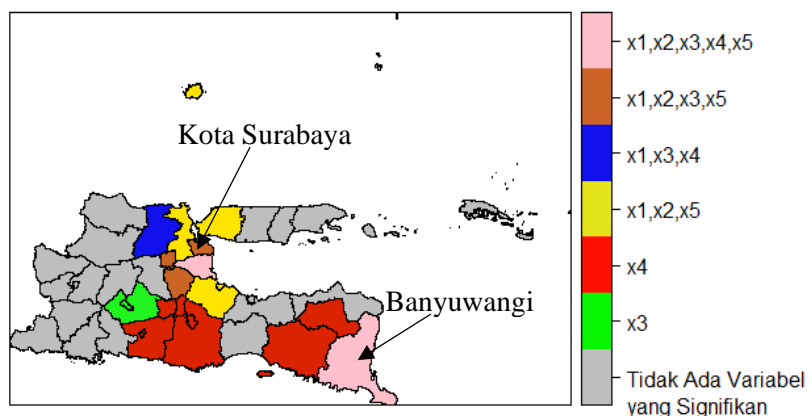
4.9 Pengujian Parameter Model RGWR-M

Model terbaik yang terpilih melalui ukuran kesalahan MAD dan perbandingan *bar chart* adalah RGWR-M. Pengujian parameter model RGWR-M dilakukan guna mengetahui mana variabel prediktor yang memengaruhi PDRB ADHK secara signifikan dan parsial. Variabel prediktor berpengaruh signifikan terhadap PDRB ADHK apabila nilai $|t_{hitung}| > t_{\alpha/2, n-k-1}$ atau $p - value < \alpha$ dengan nilai α sebesar 0,05. Variabel prediktor dengan pengaruh signifikan berdasarkan nilai t_{hitung} membagi 38 kabupaten/kota di Provinsi Jawa Timur menjadi tujuh kelompok ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Pengelompokan kabupaten/kota berdasarkan variabel prediktor yang signifikan dari model RGWR-M

No	Kabupaten/kota	Variabel Signifikan
1	Bojonegoro, Jombang, Kota Madiun, Kota Probolinggo, Lumajang, Madiun, Magetan, Nganjuk, Ngawi, Pacitan, Pamekasan, Ponorogo, Probolinggo, Sampang, Situbondo, Sumenep, Trenggalek, Tuban, Tulungagung	Tidak Ada
2	Kediri, Kota Kediri	Kepadatan Penduduk
3	Blitar, Bondowoso, Jember, Kota Batu, Kota Blitar, Kota Malang, Malang	Angkatan Kerja
4	Bangkalan, Gresik, Kota Pasuruan, Pasuruan	IPM, Jumlah Puskesmas, dan Belanja Modal
5	Lamongan	IPM, Kepadatan Penduduk, dan Angkatan Kerja
6	Kota Mojokerto, Kota Surabaya, Mojokerto	IPM, Jumlah Puskesmas, Kepadatan Penduduk, dan Belanja Modal
7	Banyuwangi, Sidoarjo	IPM, Jumlah Puskesmas, Kepadatan

Tujuh kelompok yang terbentuk pada Tabel 9, divisualisasikan pada peta Gambar 4 sebagai berikut:



Gambar 4. Peta sebaran pengaruh variabel prediktor

Pada Gambar 4, setiap kelompok diwakili dengan warna berbeda, kabupaten/kota paling banyak berwarna abu-abu (kelompok satu). Warna abu-abu (kelompok satu) terdapat paling banyak pada kabupaten/kota bagian barat dan sedikit pada kabupaten/kota yang terdapat di antara ujung paling timur dan tengah peta. Pada bagian tengah dan ujung paling timur peta terdapat warna yang cukup beragam dan mewakili variabel prediktor yang berpengaruh signifikan.

Pada bagian ujung paling timur terdapat Kabupaten Banyuwangi yang berbatasan langsung dengan Selat Bali dan dijuluki sebagai gerbang Pulau Jawa. Kabupaten Banyuwangi masuk dalam kelompok tujuh dengan warna merah muda atau kelompok dengan semua variabel prediktornya berpengaruh signifikan. Dua kabupaten yang secara geografis berdekatan dengan Kabupaten Banyuwangi dan mendapatkan pengaruh signifikan dari variabel prediktor adalah Kabupaten Bondowoso dan Kabupaten Jember yang termasuk dalam kelompok tiga ditandai warna merah dengan variabel yang berpengaruh signifikan adalah angkatan kerja (x_4).

Pada bagian tengah peta terdapat Kota Surabaya yang memiliki PDRB ADHK tertinggi dan terdeteksi sebagai pencilan. Kota ini masuk dalam kelompok enam (coklat). Kelompok dengan warna coklat hanya dimiliki oleh tiga wilayah, yaitu Kota Surabaya, Kota Mojokerto, dan Kabupaten Mojokerto. Kelompok enam merupakan kelompok dengan empat variabel prediktor berpengaruh signifikan. Ketiga wilayah tersebut memiliki jarak yang dekat satu sama lainnya. Wilayah lain yang secara geografis berdekatan dengan Kota Surabaya atau wilayah tengah memiliki variabel prediktor yang berpengaruh signifikan terhadap PDRB ADHK.

4.10 Pembahasan

Penelitian ini membuahkan hasil RGWR-M sebagai metode terbaik untuk model penelitian berdasarkan nilai MAD terkecil dan membagi 38 kabupaten/kota Jawa Timur menjadi tujuh kelompok dengan enam kelompok memiliki variabel yang berpengaruh signifikan, sedangkan satu kelompok tidak memiliki variabel yang berpengaruh signifikan. Keenam kelompok yang memiliki variabel berpengaruh signifikan dipengaruhi oleh variabel prediktor yang berbeda setiap kelompoknya, mulai dari satu hingga lima variabel prediktor yang berpengaruh dalam setiap kelompok. Hal ini selaras dengan penelitian milik Isnaini dkk [19] yang membagi kabupaten/kota

di Jawa Timur menjadi tujuh kelompok dengan RGWR-M sebagai model terbaik dibandingkan RGWR-S berdasarkan nilai MAD dengan kelompok yang terbentuk ada yang memiliki variabel prediktor yang berpengaruh dan ada yang tidak memiliki variabel prediktor yang berpengaruh. Kelima variabel prediktor dalam penelitian ini memiliki pengaruh baik positif maupun negatif terhadap PDRB ADHK di setiap kelompok yang terbentuk dan pernah digunakan peneliti lain dalam mengetahui pengaruhnya terhadap pertumbuhan ekonomi dalam bentuk PDRB atau PDB.

Variabel pertama adalah IPM (x_1) dalam penelitian Muzzakar dkk [29] dengan *geographically weighted panel regression (GWPR) fixed effect model (FEM)* menemukan IPM sebagai variabel dengan pengaruh signifikan yang besar dalam memengaruhi pertumbuhan ekonomi di kebanyakan provinsi yang berada di Indonesia (34 Provinsi) di periode tahun 2015 hingga 2022. Variabel kedua adalah jumlah puskesmas (x_2) dalam penelitian Noviyanti [9] dengan menggunakan *geographically weighted panel regression (GWPR)* di enam wilayah pengembangan (WP) Provinsi Jawa Barat jumlah puskesmas berpengaruh signifikan di dua WP terhadap PDRB ADHK. Variabel ketiga adalah kepadatan penduduk (x_3), diangkat oleh Herbiansyah dkk [10] sebagai variabel prediktor dan memiliki pengaruh yang berbeda pada setiap provinsi terhadap pertumbuhan ekonomi yang diwakili oleh variabel PDRB dengan menggunakan bantuan GWR. Variabel keempat adalah angkatan kerja (x_4) dengan GWR terhadap PDRB ADHK di Provinsi Jawa Tengah juga menghasilkan pengaruh signifikan dengan koefisien determinasi yang dimiliki GWR sebesar 66,92% [11]. Variabel terakhir adalah belanja modal (x_5) dalam Fitiriani [30] melibatkan regresi data panel *fixed effect spatial error model (FE-SEM)* dan menghasilkan koefisien determinasi sebesar 68,1%, belanja modal sebagai salah satu variabel prediktor yang berpengaruh positif signifikan terhadap PDRB ADHK di Provinsi Aceh tahun 2013-2022.

5. KESIMPULAN

Pemodelan RGWR pendugaan-M (RGWR-M) merupakan pemodelan yang paling efektif dibanding OLS dan GWR dengan nilai MAD sebesar 2.124,14 dalam pendugaan PDRB ADHK di kabupaten/kota Provinsi Jawa Timur pada tahun 2022 dengan dasar terjadi heteroskedastisitas spasial saat penggunaan OLS dan terdeteksi pencilan di dalam data spasial. Selain itu, hasil perbandingan nilai prediksi PDRB dengan aktualnya menunjukkan bahwa tidak adanya kecenderungan nilai prediksi selalu lebih besar atau selalu lebih kecil dari nilai aktualnya, sehingga model RGWR-M dapat digunakan. Hasil pengujian signifikansi pendugaan parameter menghasilkan tujuh kelompok berbeda. Enam dari tujuh kelompok masing-masing memiliki variabel prediktor yang berpengaruh signifikan, sedangkan satu dari tujuh kelompok tidak diwakili satupun variabel prediktor yang berpengaruh signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Hasan and A. Muhammad, *Pembangunan Ekonomi (edisi kedua)*. 2018.
- [2] BPS, *Produk Domestik Bruto Indonesia Triwulanan 2019-2023*, vol. 14. Badan Pusat Statistik, 2023.
- [3] BPS Kabupaten Magelang, *Produk Domestik Regional Bruto menurut Lapangan Usaha Kabupaten Magelang 2012-2016*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Magelang, 2017.
- [4] BPS, *Berita Resmi Statistik: Pertumbuhan Ekonomi Indonesia Triwulan IV-2022*, no. 17/02/Th. XXIV. Badan Pusat Statistik, 2020.
- [5] BPS Provinsi Jawa Timur, *Berita Resmi Statistik: Pertumbuhan Ekonomi Jawa Timur Triwulan II-2020*, no. 13. Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur, 2020.

- [6] BPS Provinsi Jawa Timur, “[Seri 2010] Pertumbuhan Ekonomi Menurut Kabupaten/Kota (Persen), 2018-2020.” <https://jatim.bps.go.id/indicator/162/527/2/-seri-2010-pertumbuhan-ekonomi-menurut-kabupaten-kota.html>.
- [7] BPS Provinsi Jawa Timur, “[Seri 2010] Pertumbuhan Ekonomi Menurut Kabupaten/Kota (Persen), 2021-2023.” <https://jatim.bps.go.id/indicator/162/527/1/-seri-2010-pertumbuhan-ekonomi-menurut-kabupaten-kota.html>.
- [8] R. Erdkhadifa, “Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan ekonomi di Jawa Timur dengan pendekatan spatial regression,” *IQTISHADUNA J. Ilm. Ekon. Kita*, vol. 11, no. 2, pp. 122–140, 2022, doi: 10.46367/iqtishaduna.v11i2.729.
- [9] D. Noviyanti, “Determinan pertumbuhan ekonomi wilayah pengembangan Jawa Barat tahun 2014-2018 dengan pendekatan regresi panel spasial,” *Semin. Nas. Off. Stat.*, vol. 2021, no. 1, pp. 878–888, 2021, doi: 10.34123/semnasoffstat.v2021i1.1084.
- [10] T. Herbiansyah, I. Yahya, B. Baharuddin, A. Agusrawati, R. Ruslan, and L. Laome, “Pemodelan produk domestik regional bruto di Indonesia dengan geographically weighted regression,” *Pros. Semin. Nas. Sains dan Terap. Vi*, vol. 6, no. April, pp. 23–33, 2022.
- [11] K. Isbiyantoro, Y. Wilandari, and S. Sugito, “Perbandingan model pertumbuhan ekonomi di Jawa Tengah dengan metode regresi linier berganda dan metode geographically weighted regression,” *J. Gaussian*, vol. 3, no. 3, pp. 461–469, 2014.
- [12] O. N. Purba and S. Setiawan, “Pemodelan pertumbuhan ekonomi provinsi sumatera utara dengan pendekatan ekonometrika spasial data panel,” *J. Sains dan Seni*, vol. 5, no. 2, pp. 2337–3520, 2016, [Online]. Available: http://ejurnal.its.ac.id/index.php/sains_seni/article/view/16397.
- [13] D. N. Gujarati, *Basic Econometrics (4th ed.)*. McGraw-Hill, 2004.
- [14] A. S. Fotheringham, C. Brunson, and M. Charlton, *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships*, vol. 01. John Wiley & Sons Ltd., 2002.
- [15] J. P. Lesage, *The Theory and Practice of Spatial Econometrics*. Department of Economics, University of Toledo, 1999.
- [16] R. Bivand and R. Brunstad, “Further explorations of interactions between agricultural policy and regional growth in western europe : approaches to nonstationarity in spatial econometrics,” in *45th Congress of the European Regional Science Association: “Land Use and Water Management in a Sustainable Network Society,”* 2005, no. September, pp. 23–27.
- [17] D. P. McMillen, *Quantile Regression for Spatial Data*. Springer, 2013.
- [18] L. Fahrmeir, T. Kneib, S. Lang, and B. Marx, *Regression: Models, Methods, and Applications*. Springer, 2013.
- [19] B. Isnaini, U. D. Syafitri, and M. N. Aidi, “Estimating the parameters of a robust geographically weighted regression model in gross regional domestics product in East Java,” *Int. J. Sci. Basic Appl. Res.*, vol. 48, no. 3, pp. 150–160, 2019, [Online]. Available: <http://gssrr.org/index.php?journal=JournalOfBasicAndApplied>.
- [20] J. Fox and S. Weisberg, “Robust Regression in R: An Appendix to An R Companion to Applied Regression (3rd ed.),” in *An R Companion to Applied Regression*, no. December, SAGE Publications, Inc, 2018, pp. 1–17.
- [21] D. C. Montgomery, C. L. Jennings, and M. Kulahci, *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting*. John Wiley & Sons, Inc, 2008.
- [22] R. E. Caraka and H. Yasin, *Geographically Weighted Regression (GWR): Sebuah*

- Pendekatan Regresi Geografis*. MOBIUS, 2017.
- [23] BPS Provinsi Jawa Timur, *Provinsi Jawa Timur Dalam Angka 2023*. Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur, 2023.
- [24] Direktorat Jenderal Perimbangan Keuangan | Kementerian Keuangan, “Portal Data SIKD: Filter data APBD,” 2022. <https://djpk.kemenkeu.go.id/portal/data/apbd?tahun=2022&provinsi=13&pemda=->.
- [25] BPS, *Indeks Pembangunan Manusia 2019*, vol. 53, no. 9. Badan Pusat Statistik, 2020.
- [26] BPS, *Statistik Indonesia 2023*. Badan Pusat Statistik, 2023.
- [27] U. Sekaran and R. Bougie, *Research Methods for Business: A Skill-Building Approach (7th ed.)*, vol. 34, no. 7. John Wiley & Sons Ltd., 2013.
- [28] S. Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D*. Alfabeta, 2015.
- [29] K. Muzzakar, S. Syahnur, and M. Abrar, “Provincial real economic growth in Indonesia: investigating key factors through spatial analysis,” *Ekon. J. Econ.*, vol. 1, no. 2, pp. 40–50, 2023, doi: 10.60084/eje.v1i2.66.
- [30] F. Fitriani, “Model pertumbuhan ekonomi Provinsi Aceh menggunakan pendekatan regresi spasial data panel,” Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, 2023.