

# Analisis Pola Hubungan PDRB dengan Faktor Pencemaran Lingkungan di Indonesia Menggunakan Pendekatan *Geographically Weighted Regression* (GWR)

Riza Damayanti dan Mutiah Salamah Chamid  
Jurusan Statistika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
*e-mail*: mutiah\_s@statistika.its.ac.id

**Abstrak**—PDRB merupakan salah satu indikator perekonomian suatu wilayah. Perhitungan PDRB salah satunya menggunakan pendekatan nilai tambah atau produksi, yang berkaitan dengan penggunaan sumber daya alam. Faktor pencemaran lingkungan berpengaruh terhadap ketersediaan sumber daya alam, sehingga mempunyai pengaruh dalam menentukan tinggi rendahnya PDRB suatu provinsi. Berbagai penelitian PDRB dengan metode statistika sudah banyak dilakukan. Namun, penelitian tersebut belum ada yang memodelkan antara PDRB dengan faktor pencemaran lingkungan yang memperhatikan faktor spasial. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan analisis spasial dengan *Geographically Weighted Regression* (GWR). Metode GWR digunakan untuk memodelkan PDRB di Indonesia serta mengetahui faktor dari segi lingkungan yang berpengaruh secara signifikan di tiap provinsi. Hasil pemodelan dengan GWR diperoleh model yang berbeda-beda untuk tiap provinsi. Model GWR menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan model regresi global, terlihat dari nilai AIC maupun SSE yang lebih kecil, dan  $R^2$  yang lebih besar.

**Kata Kunci:** GWR, Lingkungan, PDRB, Regresi Linier Berganda

## I. PENDAHULUAN

**P**RODUK Domestik regional Bruto (PDRB) merupakan salah satu alat ukur indikator perekonomian suatu wilayah. PDRB menunjukkan nilai bersih barang dan jasa akhir yang dihasilkan oleh berbagai kegiatan ekonomi di suatu daerah dalam suatu periode [1]. Perhitungan PDRB salah satunya menggunakan pendekatan nilai tambah atau produksi, yang berkaitan dengan penggunaan sumber daya alam. Oleh karena itu, besaran PDRB yang dihasilkan oleh masing-masing daerah sangat bergantung kepada pengelolaan sumber daya alam dan faktor produksi daerah tersebut. Adanya keterbatasan dalam pengelolaan sumber daya alam dan penyediaan faktor-faktor tersebut menyebabkan besaran PDRB bervariasi antar daerah. Namun, saat ini sumber daya alam mengalami penurunan yang cepat tanpa adanya pengganti yang memadai. Daya dukung alam semakin menurun, membuat pertumbuhan perekonomian masyarakat terganggu kestabilannya.

Kementerian Lingkungan Hidup pada tahun 2009 mulai mengembangkan alat ukur sederhana yang disebut dengan Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH). Indeks kualitas lingkungan dapat dimanfaatkan untuk mengukur keberhasilan

program-program pengelolaan lingkungan. IKLH hanya mengambil tiga indikator kualitas lingkungan, yaitu kualitas air sungai, kualitas udara, dan tutupan hutan yang dihitung pada tingkat provinsi.

Penelitian mengenai polusi udara dengan tingkat pertumbuhan suatu Negara mempunyai hubungan yang berbanding lurus, dimana semakin tinggi polusi udara maka pendapatan negara tersebut semakin besar [2]. Hal ini dikarenakan industrialisasi yang meningkat, diikuti dengan peningkatan polusi udara. Selain itu, penelitian mengenai dampak pertumbuhan ekonomi dan kemiskinan terhadap degradasi lingkungan di Jawa Barat dilakukan oleh Dariah [3]. Berdasarkan penelitian tersebut terbukti bahwa meningkatnya degradasi lingkungan telah meningkatkan pertumbuhan ekonomi dan kemiskinan. Penelitian pemodelan kuadratik untuk membuktikan hipotesis *Environmental Kuznets Curve*, dengan PDRB provinsi sebagai variabel dependen, dan indeks kualitas udara, air sungai, tutupan hutan sebagai variabel independen dilakukan oleh Idris [4]. Model regresi yang digunakan adalah linier sederhana, sehingga menghasilkan 3 buah model persamaan. Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa hanya indeks tutupan hutan yang berpengaruh signifikan terhadap PDRB.

Beberapa penelitian mengenai pemodelan PDRB dengan metode statistika sudah banyak dilakukan. Namun, penelitian tersebut belum memperhatikan faktor penting dari lingkungan dan mengkaitkannya dengan faktor spasial. Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk memodelkan PDRB di setiap Provinsi dengan mempertimbangkan faktor lingkungan. Selanjutnya dilakukan pemodelan PDRB untuk mengetahui faktor yang berpengaruh secara signifikan di tiap lokasi menggunakan metode *Geographically Weighted Regression* (GWR) karena adanya faktor spasial.

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan, maka dalam tugas akhir ini akan dilakukan penelitian terhadap PDRB berdasarkan faktor spasial. Dalam penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi persebaran PDRB serta faktor-faktor yang berpengaruh di tiap Provinsi.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. *Multikolinieritas*

Salah satu syarat yang harus dipenuhi dalam pembentukan model regresi dengan beberapa variabel prediktor adalah tidak

ada kasus multikolinieritas atau tidak terdapat korelasi antara satu variabel prediktor dengan variabel prediktor yang lain. Dalam model regresi, adanya korelasi antar variabel prediktor menyebabkan taksiran parameter regresi yang dihasilkan akan memiliki error yang sangat besar. Pendeteksian kasus multikolinieritas dilakukan menggunakan kriteria nilai VIF. Jika nilai VIF (*Variance Inflation Factor*) lebih besar dari 10 menunjukkan adanya multikolinieritas antar variabel prediktor. Nilai VIF dinyatakan sebagai berikut [5].

$$VIF = \frac{1}{1 - R_j^2} \tag{1}$$

dengan  $R_j^2$  adalah koefisien determinasi antara satu variabel prediktor ( $X_j$ ) dengan variabel prediktor lainnya.

**B. Regresi Linier**

Metode regresi adalah metode yang digunakan untuk menyatakan pola hubungan antara satu variabel respon dengan satu atau lebih variabel prediktor. Model persamaan regresi untuk pengamatan sebanyak  $n$  dengan variabel prediktor ( $x$ ) sebanyak  $p$  maka dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut [6].

$$y_i = \beta_0 + \sum_{k=1}^p \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i \tag{2}$$

dimana,  $y_i$  adalah nilai observasi variabel respon pada pengamatan ke- $i$  dengan  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$  adalah parameter model dan  $\varepsilon_i$  adalah error pengamatan ke- $i$  dengan asumsi identik, independen, dan berdistribusi normal dengan mean nol dan varians konstan. Model regresi linier berganda dapat dinotasikan dalam bentuk matrik sebagai berikut [6].

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \tag{3}$$

dengan,

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & \dots \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad \boldsymbol{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix} \quad \boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

**C. Uji Aspek Spasial dari Data**

Uji dependensi spasial dilakukan untuk melihat apakah pengamatan di suatu lokasi berpengaruh terhadap pengamatan di lokasi lain yang letaknya berdekatan. Pengujian dependensi spasial dilakukan dengan uji Moran's I dengan hipotesis terhadap sebagai berikut [7].

$H_0 : I = 0$  (Tidak ada autokorelasi spasial/dependensi spasial)

$H_1 : I \neq 0$  (Ada autokorelasi spasial/dependensi spasial)

Dengan statistik uji sebagai berikut.

$$Z_I = \frac{\hat{I} - E(\hat{I})}{\sqrt{\text{Var}(\hat{I})}} \tag{4}$$

dengan

$$\hat{I} = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{S_0 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \tag{5}$$

$$\hat{I}_0 = E(\hat{I}) = \frac{-1}{n-1} \tag{6}$$

$$\text{Var}(\hat{I}) = \frac{n^2 S_1 - n S_2 + 3 S_0^2}{(n^2 - 1) S_0^2} - [E(\hat{I})]^2 \tag{7}$$

dengan,

$\hat{I}$  = indeks Moran's I

$Z_I$  = nilai statistik uji indeks Moran's I

$E(\hat{I})$  = nilai ekspektasi indeks Moran's I

$\text{Var}(\hat{I})$  = nilai varians dari indeks Moran's I

$\bar{y}$  = Rata-rata variabel  $y$

$w_{ij}$  = Elemen matrik pembobot

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}$$

$$S_1 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (w_{ij} + w_{ji})^2}{2}$$

$$S_2 = \sum_{i=1}^n (w_{i.} + w_{.i})^2$$

Daerah kritis tolak  $H_0$  jika  $|Z_I \text{hitung}| > Z_{\alpha/2}$  yang berarti bahwa terdapat dependensi spasial antar lokasi dengan  $\alpha$  adalah tingkat signifikansi.

Uji heterogenitas spasial dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat karakteristik atau keunikan sendiri di setiap lokasi pengamatan. Adanya heterogenitas spasial dapat menghasilkan parameter regresi yang berbeda-beda di setiap lokasi pengamatan. Heterogenitas spasial diuji menggunakan statistik uji *Breusch-Pagan* dengan hipotesis sebagai berikut [8].

$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma^2$  (homoskedastisitas)

$H_1 : \text{minimal ada satu } \sigma_i^2 \neq \sigma^2$  (heteroskedastisitas)

Statistik uji:

$$BP = \left(\frac{1}{2}\right) \mathbf{f}^T \mathbf{Z} (\mathbf{Z}^T \mathbf{Z})^{-1} \mathbf{Z}^T \mathbf{f} \tag{8}$$

dengan elemen vektor  $\mathbf{f}$  adalah  $f_i = \left(\frac{e_i^2}{\hat{\sigma}^2} - 1\right)$  dimana

$e_i = y_i - \hat{y}_i$  adalah *least square* residual untuk pengamatan ke- $i$  dan  $\mathbf{Z}$  merupakan matriks berukuran  $(n \times (p + 1))$  berisi vektor yang sudah di normal standarkan untuk tiap pengamatan.

Daerah penolakan: Tolak  $H_0$ , jika  $BP > \chi_p^2$  atau jika  $p\text{-value} < \alpha$  dengan  $p$  adalah banyaknya prediktor.

**D. Geographically Weighted Regression**

Model GWR adalah pengembangan dari model regresi dimana setiap parameter dihitung pada setiap titik lokasi, sehingga setiap titik lokasi geografis mempunyai nilai parameter regresi yang berbeda-beda. Model GWR dapat dirumuskan sebagai berikut [9].

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i ; i = 1, 2, \dots, n \tag{9}$$

dengan,

- $y_i$  : nilai observasi variabel respon untuk lokasi ke- $i$
- $x_{ik}$  : nilai observasi variabel prediktor ke- $k$  pada lokasi pengamatan ke- $i$ ,  $k = 1, 2, \dots, p$
- $\beta_k(u_i, v_i)$  : koefisien regresi variabel prediktor ke- $k$  pada lokasi pengamatan ke- $i$
- $(u_i, v_i)$  : koordinat letak geografis (lintang, bujur) dari lokasi pengamatan ke- $i$
- $\varepsilon_i$  : error pengamatan ke- $i$  yang diasumsikan identik, independen, dan berdistribusi normal dengan mean nol dan varians konstan  $\sigma^2$

Parameter model GWR berbeda-beda pada setiap lokasi, hal ini berbeda dengan regresi global yang nilai parameter modelnya konstan.

Proses penaksiran parameter model GWR di suatu titik  $(u_i, v_i)$  membutuhkan pembobot spasial dimana pembobot yang digunakan adalah fungsi kernel gaussian sebagai berikut.

$$w_j(u_i, v_i) = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{d_{ij}}{b}\right)^2\right) \quad (10)$$

dimana,

$d_{ij} = \sqrt{(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2}$  adalah jarak Euclidean antara lokasi  $(u_i, v_i)$  ke lokasi  $(u_j, v_j)$  dan  $b$  adalah nilai parameter penghalus *bandwidth* [7]. *Bandwidth* merupakan radius suatu lingkaran dimana titik yang berada dalam radius lingkaran masih dianggap berpengaruh dalam membentuk parameter model lokasi  $i$ .

Uji hipotesis model GWR ada dua macam, yaitu.

1. Uji Kesesuaian Model GWR

Pengujian kesesuaian model GWR dilakukan dengan hipotesis sebagai berikut.

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

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \beta_k(u_i, v_i) \neq \beta_k$$

Berikut merupakan statistik uji kesesuaian model GWR [9].

$$F_{hitung} = \frac{(SSE(H_0) - SSE(H_1))}{\frac{v}{\delta_1}} \quad (11)$$

Dengan  $v = tr(R_0 - R_1)$  dan  $\delta_1 = tr(R_1)$ , dimana derajat bebas yang digunakan adalah  $df_1 = \frac{v^2}{v^*}$  dan  $df_2 = \frac{\delta_1^2}{\delta_2}$  dengan

$v^* = tr[(R_0 - R_1)^2]$  dan  $\delta_2 = tr[(R_1)^2]$ . Sehingga tolak  $H_0$  jika

$$F_{hitung} > F_{\alpha, df_1, df_2}$$

2. Uji Signifikansi Parameter Model GWR

Uji ini dilakukan untuk mengetahui parameter mana saja yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabel respon pada model GWR. Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$H_0 : \beta_k(u_i, v_i) = 0$$

$$H_1 : \beta_k(u_i, v_i) \neq 0; \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots, p$$

Statistik uji:

$$T_{hitung} = \frac{\hat{\beta}_k(u_i, v_i)}{\hat{\sigma} \sqrt{g_{kk}}} \quad (12)$$

dengan  $g_{kk}$  adalah elemen diagonal ke- $k$  dari matrik  $\mathbf{GG}^T$

dengan  $\mathbf{G} = (\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i)$  sehingga

didapatkan  $\frac{\hat{\beta}_k(u_i, v_i) - \beta_k(u_i, v_i)}{\hat{\sigma} \sqrt{g_{kk}}} \sim N(0, 1)$ . Jika tingkat

signifikansi yang diberikan sebesar  $\alpha$  maka keputusan tolak  $H_0$  jika  $|T_{hitung}| > t_{(\alpha/2; df)}$  dengan  $df = \frac{\delta_1^2}{\delta_2}$  atau jika  $p\text{-value} < \alpha$ .

E. PDRB

PDRB didefinisikan sebagai jumlah nilai barang dan jasa akhir yang dihasilkan oleh seluruh unit ekonomi. PDRB atas dasar harga konstan menunjukkan nilai tambah barang dan jasa tersebut yang dihitung menggunakan harga pada satu tahun tertentu sebagai dasar (tahun 2000). PDRB atas dasar harga konstan digunakan untuk mengetahui pertumbuhan ekonomi dari tahun ke tahun. Terdapat tiga pendekatan yang digunakan dalam menghitung PDRB, yaitu pendekatan nilai tambah, pendapatan, dan pengeluaran. Dalam kaitannya dengan penggunaan sumber daya alam, pendekatan yang digunakan adalah pendekatan nilai tambah (produksi).

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder mengenai PDRB atas dasar harga konstan tahun 2013 yang diperoleh melalui Badan Pusat Statistik (BPS) dan faktor-faktor pencemaran lingkungan yang diperoleh melalui Kementerian Lingkungan Hidup, yaitu data indeks kualitas udara, air sungai dan indeks tutupan hutan. Selain itu data kepadatan penduduk juga diperoleh melalui BPS berupa data publikasi. Unit penelitian ini adalah 33 provinsi di Indonesia.

B. Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dengan metode *Geographically Weighted Regression* terdiri dari variabel respon (Y) dan variabel prediktor (X). Berikut merupakan identifikasi dari variabel penelitian yang tertera pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1.  
Variabel Penelitian

Variabel	Definisi Operasional
Y	PDRB atas dasar harga konstan
X <sub>1</sub>	Indeks kualitas udara
X <sub>2</sub>	Indeks kualitas air sungai
X <sub>3</sub>	Indeks tutupan hutan
X <sub>4</sub>	Kepadatan penduduk

C. Langkah Analisis

Langkah analisis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

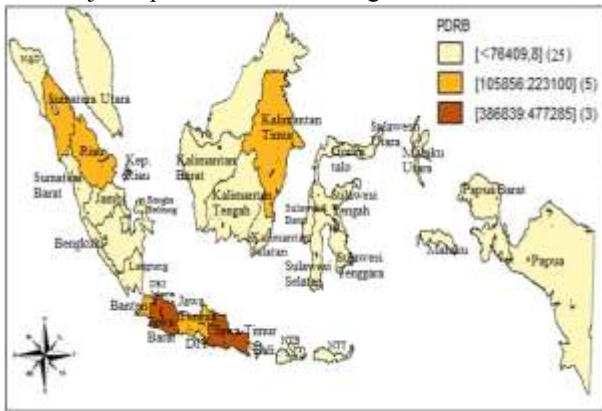
1. Mendeskripsikan data PDRB provinsi pada tahun 2013.
2. Melakukan pemodelan dengan metode regresi linier dan *Geographically Weighted Regression*, sebagai berikut.
  - 1) Mendeteksi kasus multikolinieritas.

- 2) Melakukan pemodelan PDRB dengan regresi linier.
- 3) Melakukan pengujian aspek spasial, yaitu uji dependensi dan heterogenitas spasial pada data PDRB
- 4) Melakukan pemodelan GWR pada PDRB dengan faktor-faktor lingkungan.
- 5) Membandingkan nilai AIC, SSE, dan  $R^2$  model regresi linier (global) dengan model GWR. Nilai AIC dan SSE yang terkecil, dan  $R^2$  yang terbesar merupakan model yang terbaik.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran PDRB

PDRB di Indonesia tahun 2013 menyebar antar provinsi seperti disajikan pada Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Persebaran PDRB

Gambar 1 menunjukkan pembagian PDRB yang dibagi menjadi 3 kelompok menggunakan metode *Natural Breaks*, yakni kelompok rendah, sedang, dan tinggi. Kelompok provinsi dengan kategori PDRB rendah yaitu kurang dari Rp. 76.409,8 Miliar terdiri dari 25 provinsi. Kelompok provinsi dengan kategori PDRB sedang yaitu berada pada *range* Rp. 105.856 Miliar sampai dengan Rp. 223.100 Miliar terdiri dari 5 provinsi. Terdapat 3 provinsi dengan kategori PDRB tinggi yaitu pada *range* Rp. 386.839 Miliar sampai dengan Rp. 477.285 Miliar, yaitu DKI Jakarta, Jawa Timur, dan Jawa Barat. Berdasarkan hasil analisis pemetaan, terlihat bahwa variasi PDRB di Pulau Jawa sangat beragam apabila dibandingkan dengan pulau lain. Hal ini dikarenakan terdapat 3 kategori (atau 3 warna) yang tersebar di Pulau Jawa, mulaidari kategori rendah hingga tinggi, yang mengindikasikan bahwa persebaran PDRB dalam pulau tersebut belum merata. Provinsi di Pulau Jawa mempunyai PDRB yang lebih tinggi dibandingkan provinsi lain. Sehingga, dapat disimpulkan pembangunan ekonomi masih cenderung terkonsentrasi di Pulau Jawa.

B. Analisis dengan *Geographically Weighted Regression (GWR)*

Analisis menggunakan metode *Geographically Weighted Regression (GWR)* bertujuan untuk mengetahui variabel yang berpengaruh terhadap PDRB.

B1. Deteksi Multikolinieritas

Pendeteksian multikolinieritas dilakukan berdasarkan nilai VIF. Nilai VIF masing-masing variabel prediktor kurang dari 10, maka disimpulkan tidak terjadi kasus multikolinieritas

antar variabel prediktor. Oleh karena itu, semua variabel prediktor dapat digunakan dalam pemodelan regresi linier berganda.

B2. Pemodelan PDRB dengan Regresi Linier Berganda

Berikut merupakan hasil pemodelan PDRB dengan regresi linier berganda.

$$\ln \hat{Y} = 16,4 - 0,059X_1 - 0,0022X_2 - 0,0159X_3 - 0,000009X_4$$

Nilai  $R^2$  yang dihasilkan mendekati 50 persen yaitu sebesar 48,5 persen, diartikan variabel prediktor yang diduga mempengaruhi mampu menjelaskan variabel respon sebesar 48,5 persen, sedangkan 51,5 persen sisanya dijelaskan oleh variabel lain di luar model. Hipotesis untuk uji signifikansi parameter secara serentak pada model regresi linier berganda adalah sebagai berikut.

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \beta_k \neq 0; k = 1, 2, 3, 4$$

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan  $F_{hitung}$  sebesar 6,58 dan *p-value* sebesar 0,001. Berdasarkan nilai *p-value*, maka pengujian menghasilkan kesimpulan tolak  $H_0$  dengan menggunakan taraf signifikansi ( $\alpha$ ) lebih dari 1%. Hal ini berarti pemodelan dengan regresi linier berganda secara serentak menghasilkan parameter yang signifikan.

Selanjutnya untuk mengetahui variabel prediktor mana saja yang memberikan pengaruh secara signifikan, maka dilakukan pengujian parameter secara parsial (individu). Uji parameter secara parsial dilakukan dengan hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \beta_k = 0$$

$$H_1 : \beta_k \neq 0; k = 1, 2, 3, 4$$

Dengan taraf signifikansi ( $\alpha$ ) 20% maka dapat dikatakan bahwa variabel prediktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap model secara parsial adalah variabel indeks kualitas udara ( $X_1$ ) dan variabel indeks tutupan hutan ( $X_3$ ).

Pengujian asumsi residual identik menggunakan uji *Breusch-Pagan* menghasilkan keputusan gagal tolak  $H_0$ , karena  $\theta > \chi^2_{(0,05;4)}$  ( $0,7195 < 9,49$ ). Sehingga, disimpulkan bahwa asumsi varians residual homogen (identik) terpenuhi.

Pengujian asumsi residual independen dilakukan dengan statistik uji *Durbin-Watson*. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai  $d = 1,2587$  dengan nilai *p-value* 0,01095, sehingga diputuskan tolak  $H_0$  karena nilai *p-value*  $< \alpha$  (0,05). Hal tersebut menunjukkan bahwa ada hubungan antar residual, sehingga dapat dikatakan bahwa asumsi residual independen tidak terpenuhi. Pada penelitian ini, asumsi tidak terpenuhinya residual independen tidak diatasi. Hal ini dikarenakan apabila asumsi tersebut diatasi, maka variabel yang berpengaruh signifikan berkurang.

Pengujian residual berdistribusi normal yaitu dilakukan dengan uji Kolmogorov Smirnov. Pada taraf signifikansi ( $\alpha$ ) 5% diperoleh *p-value* sebesar lebih dari 0,150 maka diputuskan gagal tolak  $H_0$  yang artinya bahwa residual dari regresi linier berganda mengikuti distribusi normal.

B3. Uji Aspek Spasial dari Data

Uji aspek spasial dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat dependensi atau heterogenitas spasial. Pengujian dependensi

spasial dilakukan dengan uji Moran's I dan didapatkan nilai *p-value* sebesar  $1,4 \times 10^{-6}$  sehingga diputuskan tolak  $H_0$  (karena *p-value* < 0,05). Hal ini berarti bahwa terdapat depedensi atau korelasi antar wilayah.

Pengujian heterogenitas spasial menggunakan statistik uji *Breusch-Pagan*. Hasil pengujian pada taraf signifikansi ( $\alpha$ ) 5% dihasilkan nilai statistik uji BP sebesar 1,293 dengan nilai *p-value* 0,8626 maka diputuskan gagal tolak  $H_0$  yang artinya variansi di tiap lokasi sama (homogen). Meskipun tidak memenuhi asumsi heterogenitas spasial, namun sesuai dengan batasan masalah maka analisis tetap dilanjutkan dengan menggunakan metode GWR.

**B4. Pemodelan PDRB dengan GWR**

Uji hipotesis model GWR terdiri dari dua macam uji, yaitu uji kesesuaian model GWR dan uji signifikansi parameter model GWR. Pengujian kesesuaian model menggunakan hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \beta_k(u_i, v_i) = \beta_k; i = 1, 2, \dots, 33; k = 1, 2, 3, 4 \text{ (tidak ada perbedaan)}$$

signifikan antara model regresi global dan model GWR)

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \beta_k(u_i, v_i) \neq \beta_k \text{ (ada perbedaan signifikan antara model regresi global dan model GWR)}$$

Pada taraf signifikansi ( $\alpha$ ) 20%, diperoleh nilai  $F_{(0,20;6,8741;21,1259)}$  sebesar 1,56798 dan  $F_{hitung}$  sebesar 1,5838, sehingga diputuskan tolak  $H_0$  yang artinya terdapat perbedaan signifikan antara model regresi global dan model GWR. Pengujian signifikansi parameter model menggunakan hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \beta_k(u_i, v_i) = 0$$

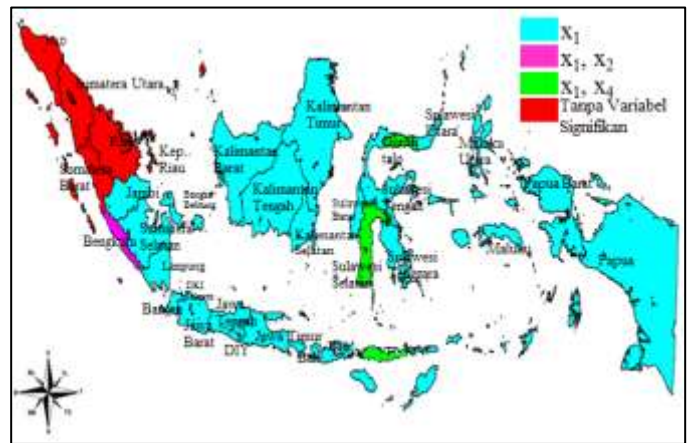
$$H_1 : \beta_k(u_i, v_i) \neq 0; i = 1, 2, \dots, 33; k = 1, 2, 3, 4$$

Pada taraf signifikansi ( $\alpha$ ) 20%, diperoleh nilai  $t_{(\frac{0,20}{2};21,1259)} = 1,323$ . Berikut ini disajikan pengelompokan berdasarkan variabel yang signifikan.

Tabel 2

Pengelompokan Provinsi Berdasarkan Variabel Signifikan

No	Variabel yang Signifikan	Provinsi
1	$X_1$	Bangka Belitung, Jambi, Sumatera Selatan, Lampung, Banten, DI Yogyakarta, DKI Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa timur, Bali, NTB, Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, Kalimantan Tengah, Kalimantan Timur, Maluku, Maluku Utara, Sulawesi Barat, Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Utara, Papua Barat, Papua.
2	$X_1, X_2$	Bengkulu
3	$X_1, X_4$	Gorontalo, NTT, Sulawesi Selatan
4	Tanpa Variabel Signifikan	NAD, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Kepulauan Riau, Riau



Gambar 2. Peta Persebaran Provinsi Berdasarkan Variabel Signifikan

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 2, terlihat pengelompokan provinsi berdasarkan variabel yang signifikan, yakni terbentuk 4 kelompok. Variabel indeks kualitas udara ( $X_1$ ) signifikan pada 24 Provinsi di Indonesia, yakni pada semua provinsi di Pulau Jawa, Pulau Kalimantan, Bali, NTB, dan Papua. Variabel  $X_1$  signifikan pada Provinsi Jawa Timur dikarenakan indeks kualitas udara di provinsi tersebut sangat rendah (urutan 5 terbawah dari seluruh provinsi di Indonesia). Indeks yang sangat rendah tersebut menggambarkan kualitas udara yang buruk di provinsi tersebut. Penyebab rendahnya kualitas udara di Provinsi Jawa Timur adalah penyumbang struktur PDRB yang didominasi oleh tiga sektor, salah satunya adalah industri manufaktur (26,61%). Indonesia tahun 2013 memiliki 232 kawasan industri, dengan 32 kawasan industri diantaranya berada di Jawa Timur. Jumlah kawasan industri di Jawa Timur yang cukup besar, turut menyumbang pemasukan bagi PDRB provinsi tersebut, namun disisi lain juga mengakibatkan rendahnya kualitas udara di Jawa Timur.

Model GWR yang didapatkan setiap Provinsi berbeda-beda. Berikut merupakan interpretasi dari model GWR di Provinsi Jawa Timur.

$$\hat{Y} = \exp(16,965 - 0,076X_1)$$

Berdasarkan model regresi lokal tersebut, dapat diketahui bahwa setiap penambahan satu satuan indeks kualitas udara, maka akan mengakibatkan penurunan PDRB di Jawa Timur sebesar  $e^{0,076} = 1,078963$  atau menurun sebesar Rp. 1.078.963.000 dengan asumsi variabel lain tetap. Semakin baik kualitas udara (semakin tinggi), akan menurunkan nilai PDRB. Hal ini dikarenakan kualitas udara yang memburuk sebagai akibat berbagai kegiatan industri, polusi dari kendaraan bermotor, dimana kedua hal tersebut sebagai penggerak utama perekonomian yang menyumbang peningkatan terhadap PDRB, namun disisi lain menurunkan kualitas udara. Oleh karena itu, sudah seharusnya pemerintah provinsi menerapkan pembangunan yang berkelanjutan, yang tidak hanya memperhatikan dari segi ekonomi saja namun juga menyeimbangkannya dengan aspek lingkungan, sehingga kesejahteraan masyarakat akan lebih terjamin

**B5. Pemilihan Model Terbaik**

Untuk mengetahui model mana yang terbaik, perlu dilakukan pemilihan model terbaik dari kedua model yaitu model regresi linier berganda dan model *Geographically Weighted Regression* (GWR). Kriteria yang digunakan untuk

pemilihan model terbaik adalah nilai AIC, SSE, dan  $R^2$  dari tiap model. Model terbaik adalah model yang memiliki nilai AIC dan SSE yang minimum, dan  $R^2$  yang paling tinggi. Berikut disajikan perbandingan nilai AIC dari kedua model.

Tabel 3.  
Nilai AIC Model Regresi Global dan GWR

Model	AIC	$R^2$	SSE
Regresi Linier Berganda (Global)	95,095	48,5	27,0514
<i>Geographically Weighted Regression</i> (GWR)	83,12	65,98	17,8517

Berdasarkan nilai AIC pada Tabel 3, model GWR memiliki nilai AIC dan SSE yang minimum, dan  $R^2$  yang paling besar. Oleh karena itu, disimpulkan bahwa model GWR merupakan model yang terbaik.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan bahwa persebaran PDRB mempunyai pola hubungan yang negatif dengan kualitas lingkungan, dimana semakin rendah kualitas lingkungan di suatu provinsi, PDRB akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan berbagai kegiatan yang menunjang perekonomian, seperti kegiatan industri, mobilitas penduduk yang menghasilkan polusi dari kendaraan bermotor, limbah dari pabrik maupun rumah tangga, telah berhasil meningkatkan PDRB, namun disisi lain kurang terjaganya aspek lingkungan mengakibatkan kualitas lingkungan yang semakin menurun. Berdasarkan uji kesesuaian model GWR, menghasilkan kesimpulan bahwa terdapat perbedaan antara model regresi linier dengan model GWR. Hasil pemodelan dengan GWR diperoleh model yang berbeda-beda untuk tiap provinsi. Berdasarkan variabel yang signifikan untuk tiap provinsi, terbentuk 4 kelompok provinsi yang memiliki kesamaan variabel yang berpengaruh terhadap PDRB. Model GWR memiliki nilai AIC dan SSE yang minimum, juga  $R^2$  yang lebih besar dibanding model regresi global, sehingga dapat dikatakan bahwa model GWR adalah model yang terbaik jika dibandingkan dengan model regresi linier berganda.

Pada penelitian selanjutnya disarankan dalam pemilihan variabel prediktor yang mempengaruhi dalam aspek lingkungan sebaiknya ditambah. Saran untuk pemerintah di masing-masing provinsi tetap memperhatikan aspek lingkungan dalam pembangunan, sehingga kesejahteraan masyarakat akan tetap terjamin dengan menjaga keseimbangan lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sasana, Hadi. (2006). *Jurnal Bisnis dan Ekonomi (JBE) ISSN: 1412-3126, Analisis Determinan Belanja Daerah di Kabupaten/Kota Provinsi Jawa Barat Dalam Era Otonomi dan Desentralisasi Fiskal*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- [2] Hutabarat, Lamhot. (2010). *Pengaruh PDRB Sektor Industri Terhadap Kualitas Lingkungan Ditinjau Dari Emisi Sulfur dan CO2 di Lima Negara Anggota Asean Periode 1980-2000*. Skripsi Fakultas Ekonomi Universitas Diponegoro.
- [3] Dariah, R.A. (2006). *Dampak Pertumbuhan Ekonomi dan Degradasi Lingkungan di Jawa Barat*. Tesis. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [4] Idris. (2008). *Penerapan Konsep Sustainable Development Sebagai Langkah Strategis Untuk Mempersiapkan Masa Depan Bangsa*, Artikel Jurnal ECONOMAC Volume II No. 2 FE UNP Padang.
- [5] Hocking, R. R. (1996). *Method and Applications of Linear Models* (2nd Edition ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [6] Draper, N. R., dan Smith, H. (1998). *Applied Regression Analysis* (3rd Edition ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [7] Lee, J., dan Wong, D. W. (2001). *Statistical Analysis with ArcView GIS*. Canada: John Willey & Sons, Inc.
- [8] Anselin, L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher
- [9] Fotheringham, A. S., Brunson, C., dan Charlton, M. E. (2002). *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships*. Chichester: John Wiley & Sons, Inc.