

## Analysis of Ordinary Least Square and Geographically Weighted Regression on the Human Development Index of North Sumatra 2021

Nurhalizah<sup>1\*</sup>, Pardomuan Sitompul<sup>2</sup>  
Jurusan Matematika, Universitas Negeri Medan  
**Corresponding Author:** Nurhalizah [nrhalzh@mhs.unimed.ac.id](mailto:nrhalzh@mhs.unimed.ac.id)

---

### ARTICLE INFO

*Kata Kunci:* IPM, Ordinary Least Square, Geographically Weighted Regression

*Received :* 07 October

*Revised :* 27 October

*Accepted:* 15 November

©2022 Nurhalizah, Sitompul:  
This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



### ABSTRACT

The Human Development Index has a big contribution to human development in a region, the HDI value is useful for the government as development planning and allocating funds to improve welfare. This research will look for the HDI model in North Sumatra with OLS and GWR, as well as look at the factors that have the greatest influence on HDI in North Sumatra in 2021. Based on the analysis carried out using OLS, one model for the HDI for North Sumatra province with the largest parameter value is the average value. average length of school. Using the GWR, 33 HDI models were obtained for each district/city in North Sumatra. Furthermore, by using OLS and GWR on HDI in North Sumatra, it is obtained that the factor that has the greatest influence on HDI scores in North Sumatra by looking at the value of the largest parameter estimator is the average length of schooling.

## **Analisis Ordinary Least Square dan Geographically Weighted Resgression pada Indeks Pembangunan Manusia Sumatera Utara 2021**

Nurhalizah<sup>1\*</sup>, Pardomuan Sitompul<sup>2</sup>

Jurusan Matematika, Universitas Negeri Medan

**Corresponding Author:** Nurhalizah [nrhalzh@mhs.unimed.ac.id](mailto:nrhalzh@mhs.unimed.ac.id)

---

### ARTICLE INFO

*Kata Kunci: IPM, Ordinary Least Square, Geographically Weighted Regression*

*Received : 07 October*

*Revised : 27 October*

*Accepted: 15 November*

©2022 Nurhalizah, Sitompul: This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



### ABSTRAK

Indeks Pembangunan Manusia mempunyai andil besar terhadap pembangunan manusia di suatu wilayah, nilai IPM berguna bagi pemerintah sebagai perencanaan pembangunan dan pengalokasian dana guna meningkatkan kesejahteraan. Penelitian ini akan dicari model IPM di Sumatera Utara dengan OLS dan GWR, serta melihat faktor yang paling besar mempengaruhi IPM di Sumatera Utara tahun 2021. Berdasarkan analisis yang dilakukan menggunakan OLS diperoleh satu model IPM provinsi Sumatera Utara dengan nilai parameter paling besar adalah nilai rata-rata lama sekolah. Dengan menggunakan GWR diperoleh 33 model IPM setiap Kab/Kota di Sumatera Utara. Selanjutnya, dengan menggunakan OLS dan GWR pada IPM di Sumatera Utara, diperoleh faktor yang paling besar mempengaruhi nilai IPM di Sumatera Utara dengan melihat nilai penduga parameter terbesar adalah nilai Rata-Rata Lama Sekolah.

---

## PENDAHULUAN

Indeks Pembangunan Manusia (IPM) pertama kali diperkenalkan oleh UNDP pada tahun 1990 melalui laporan *Human Development Report* (HDR). Menurut UNDP, IPM merupakan indikator penting untuk mengukur keberhasilan dalam upaya membentuk kualitas hidup manusia karena mampu menjelaskan bagaimana penduduk bisa mengakses hasil pembangunan untuk memperoleh pendapatan, kesehatan, dan pendidikan. Oleh karena itu IPM mempunyai andil besar terhadap status pembangunan manusia di suatu wilayah dan sangat berguna terutama bagi pemerintah sebagai tolak ukur atau acuan perencanaan pembangunan dan pengalokasian dana guna meningkatkan kesejahteraan (Karyono dkk. 2021).

Sejak tahun 1990 hingga 2014 UNDP terus melakukan penyempurnaan pada perhitungan IPM sehingga ditetapkan tiga dimensi pembentuk IPM yang mencakup beberapa indikator yaitu Umur Harapan Hidup saat lahir (UHH), Harapan Lama Sekolah (HLS), Rata-rata Lama Sekolah (RLS) dan pengeluaran riil per kapita yang disesuaikan (PKD) (Karyono dkk. 2021).

Berdasarkan data terbaru dari Badan Pusat Statistik, tercatat bahwa nilai IPM Sumatera Utara menunjukkan peningkatan dengan rata-rata kenaikan 0,69% per tahun. Capaian tersebut tentunya didukung oleh peningkatan semua dimensi pembangunan di setiap daerah di Sumatera Utara. Pada tahun 2021, nilai IPM Sumatera Utara mencapai 72 poin. Namun sayangnya, nilai tersebut masih berada di bawah nilai rata-rata IPM nasional yang sebesar 72,29 poin (Karyono dkk. 2021). Oleh karena itu, perlu dilihat kembali faktor yang paling besar mempengaruhi nilai IPM itu sendiri sehingga nilai IPM di Sumatera Utara dapat dijaga dan dapat terus ditingkatkan.

Sebelumnya, pada penelitian (Kadri dkk. 2020) dikatakan bahwa faktor yang memberikan kontribusi paling besar pada IPM adalah Harapan Lama Sekolah dan Rata-rata Lama Sekolah. Sedangkan pada penelitian (Pardede dkk. 2021) dikatakan bahwa Pendapatan per Kapita berpengaruh paling besar terhadap IPM. Oleh karena itu dilakukan penelitian untuk memodelkan Indeks Pembangunan Manusia di Provinsi Sumatera Utara dengan mempertimbangkan pengaruh geografis sebagai langkah untuk menduga nilai IPM di masa yang akan datang berdasarkan faktor yang secara signifikan berpengaruh.

Menurut (Harlan 2018) Model regresi berganda (*Multiple Linier Regression Model*) dengan metode kuadrat terkecil atau *Ordinary Least Square* (OLS) dapat digunakan untuk melihat hubungan antara variabel independen yang berpengaruh pada variabel dependen serta dalam penentuan nilai estimasi pada parameter. Lalu, dengan mempertimbangkan faktor geografis, metode OLS berkembang menjadi model regresi terboboti, salah satunya adalah metode *Geographically Weighted Regression* (GWR) di mana nilai estimasi parameter yang diberikan dalam tiap lokasi pengamatan akan berbeda (Maulana dkk. 2019).

Penelitian sebelumnya terkait IPM telah dilakukan oleh (Azizah dan Pramodyo 2020), didapatkan bahwa model regresi OLS lebih baik dari pada model GWR, di mana model OLS dapat menggambarkan data IPM Provinsi Jawa Timur tahun 2016. Begitu pula pada penelitian yang dilakukan oleh (Sartika dan Murniati 2021) didapatkan bahwa model regresi OLS lebih baik dibandingkan

dengan model GWR dalam menggambarkan persentase kemiskinan di kab/kota Jawa Barat. Namun di sisi lain, berdasarkan penelitian (Mahara dan Fauzan 2021) pemodelan GWR lebih baik dalam menggambarkan jumlah kemiskinan di Provinsi Jawa Tengah jika dibandingkan dengan model OLS. Juga pada penelitian (Maulana dkk. 2019) model GWR lebih baik dibandingkan model regresi OLS untuk menggambarkan Indeks Pembangunan Manusia di Indonesia tahun 2015.

Penelitian ini bertujuan untuk melihat model IPM dengan metode OLS dan GWR, serta melihat faktor yang paling besar mempengaruhi nilai IPM di Provinsi Sumatera Utara menggunakan data tahun 2021.

## TINJAUAN PUSTAKA

### *Indeks Pembangunan Manusia (IPM)*

Indeks Pembangunan Manusia (IPM) diperkenalkan oleh *United Nations Development Programme* (UNDP) di tahun 1990 dan secara teratur diterbitkan pada laporan *Human Development Report* (HDR) tahunan. IPM merupakan indikator penting untuk mengukur keberhasilan dalam upaya membentuk kualitas hidup manusia (masyarakat/penduduk). IPM mampu menjelaskan bagaimana penduduk bisa mengakses hasil pembangunan untuk memperoleh pendapatan, kesehatan, pendidikan, dan sebagainya (Karyono dkk. 2021).

Indikator yang digunakan pada penghitungan IPM di Indonesia mengacu kepada metode yang ditetapkan oleh UNDP dengan berbagai penyesuaian. UNDP menetapkan tiga dimensi pembentuk IPM. Dimensi ini meliputi:

1. Umur panjang dan hidup sehat (*a long and healthy life*) yang diwakili oleh indikator Umur Harapan Hidup saat lahir (UHH);
2. Pengetahuan (*knowledge*) yang diwakili oleh indikator Harapan Lama Sekolah (HLS) dan Rata-rata Lama Sekolah (RLS);
3. Standar hidup layak (*decent standard of living*) yang diwakili oleh indikator Pengeluaran Riil per Kapita yang disesuaikan untuk menggambarkan pendapatan masyarakat atau bahkan kesejahteraan masyarakat pada tingkat Kab/Kota.

(Karyono dkk. 2021).

### *Regresi Linear*

Regresi linear (*linear regression*) digunakan untuk memodelkan hubungan antara variabel dependen dengan variabel independen. Apabila hanya menggunakan satu variabel independen maka disebut sebagai regresi linear sederhana (*simple linear regression*), sedangkan jika menggunakan lebih dari satu variabel independen maka disebut regresi linear berganda (*multiple linear regression*). Variabel dependen di regresi linear sering juga disebut sebagai variabel *respons*, sedangkan variabel independen sering disebut sebagai variabel prediktor (Harlan 2018).

### *Metode Ordinary Least Square (OLS)*

Salah satu metode yang bisa diterapkan untuk mengestimasi koefisien regresi yaitu metode kuadrat terkecil atau *Ordinary Least Square* (OLS). Dengan

tujuan mengestimasi koefisien regresi untuk meminimalkan jumlah kuadrat galat (Montgomery dkk. 2021). Persamaan untuk metode ini dapat ditulis sebagai berikut:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad \dots(1)$$

Parameter  $\beta_j, j = 0, 1, \dots, k$ , disebut koefisien regresi. Parameter  $\beta_j$  mewakili perubahan yang diharapkan dalam respons  $y$  per unit perubahan dalam  $x_j$  ketika semua variabel regresi yang tersisa  $x_i (i \neq j)$  tetap konstan. Dalam pengaturan regresi klasik biasanya diasumsikan bahwa  $\varepsilon$  istilah *error* mengikuti distribusi normal dengan  $E(\varepsilon) = 0$  dan varians konstan  $Var(\varepsilon) = \sigma^2$  (Yan dan Su 2009).

#### *Uji Normalitas*

Uji asumsi ini digunakan untuk menguji data variabel dependen serta data variabel independen berdistribusi normal atau berdistribusi tidak normal dari persamaan regresi yang didapat. Persamaan regresi adalah baik apabila data variabel dependen serta data variabel independen berdistribusi normal (Danang 2009). Uji normalitas dengan *Anderson Darling Test* digunakan sebagai metode pada penelitian ini.

dengan hipotesis:

$H_0$ : Residual berdistribusi normal

$H_1$ : Residual tidak berdistribusi normal

Statistik Uji yang digunakan adalah:

$$A^2 = -n - S \quad \dots(2)$$

Di mana

$$S = \sum_{i=1}^N \frac{(2i-1)}{N} [\log F(Y_i) + \log(1 - F(Y_{N+1-i}))]$$

Dengan  $F(Y_i)$  menyatakan fungsi sebaran kumulatif dari normal baku dan  $(Y_i)$  menyatakan data yang diurutkan (Algifari. 2000).

Dengan keputusan, bahwa terima  $H_0$  pada taraf signifikansi  $\alpha$  jika  $A^2 < AD_{tabel}$  atau p-value  $\geq \alpha$ . Jika data tidak berdistribusi normal, maka dilakukan transformasi data. Menolak  $H_0$  apabila p-value  $< \alpha$ .

#### *Uji Heteroskedastisitas*

Pada persamaan regresi berganda diperlukan uji untuk melihat varians residual satu pengamatan dan pengamatan lainnya. Apabila residualnya memiliki varians yang sama, maka terdapat homoskedastisitas, Apabila variansnya tidak sama maka terdapat heteroskedastisitas. Sebagai contoh: (Danang 2009).

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan yaitu uji *Breusch-Pagan* dengan hipotesis:

$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_{21}^2 = \dots = \sigma_n^2 = \sigma^2$  (tidak terjadi heterogenitas antar wilayah)

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

Adapun statistik uji yang digunakan adalah:

$$BP = \frac{1}{2} f^T X (X^T X)^{-1} X^T f \quad \dots(3)$$

Dimana, elemen vektor  $f$  dirumuskan  $f_i = \left( \frac{e_i^2}{\sigma^2} - 1 \right)$  serta,

BP = nilai uji *Breusch-Pagan*

$e_i$  = galat untuk pengamatan ke- $I$  dengan asumsi  $e \sim IIDN(0, \sigma^2)$

$X$  = Matriks yang berukuran  $n \times (p+1)$  yang sudah distandarisasi untuk setiap pengamatan

$\sigma^2$  = ragam dari  $e_i, I = 1, 2, \dots, n$

Keputusan  $H_0$  ditolak jika nilai  $BP \geq \chi^2$  dengan taraf signifikansi  $\alpha = 0.05$  atau  $p_{value} < \alpha$ .  $BP \geq \chi^2$ . Apabila data penelitian yang digunakan tidak menunjukkan heteroskedastisitas, maka data tidak dapat dilanjutkan ke model GWR atau berhentipada langkah uji asumsi ini (Danang 2009)..

#### *Uji Multikolinearitas*

Uji ini digunakan untuk analisis regresi berganda yang terdiri dari 2 atau lebih variabel bebas, di mana tingkat keeratan hubungan/pengaruh antar variabel independen diukur melalui besaran koefisien korelasi ( $r$ ) (Butarbutar 2020). Untuk menguji ada atau tidaknya multikolinearitas ialah dengan memperhatikan nilai VIF (*Variance Inflation Factor*) serta koefisien korelasi masing-masing variabel independen. Asumsi multikolinearitas terdeteksi jika nilai  $VIF > 10$ .

$$VIF_k(u_i, v_i) = \frac{1}{1 - R_k^2(u_i, v_i)} \quad \dots(4)$$

Dimana  $R_k^2(u_i, v_i)$  adalah koefisien determinasi variabel ke- $k$  pada lokasi ke- $i$ . (Butarbutar 2020).

#### *Uji no Autokorelasi*

Model regresi yang baik tidak mempunyai masalah autokorelasi, yang berarti tidak ada hubungan antara data pengamatan yang diurutkan berdasarkan waktu ataupun ruang (Subanti 2014). Uji Durbin-Watson digunakan sebagai metode padapenelitian ini dengan hipotesis:

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

$H_1 : \text{minimal ada satu } \rho \neq 0$  (terdapat autokorelasi)

Table 1. Kriteria *Durbin-Watson*

$DW < dL$	Autokorelasi Positif
$dL < DW < dU$	Tidak dapat disimpulkan
$dU < DW < 4 - dU$	Tidak terdapat autokorelasi
$4 - dU < DW < 4 - dL$	Tidak dapat disimpulkan
$4 - dL < DW$	Autokorelasi Negatif

(Subanti 2014)

#### *Uji Simultan*

Uji signifikansi secara simultan adalah uji semua variabel bebas secara keseluruhan dan bersamaan di dalam suatu model. Uji ini dilakukan untuk melihat apakah variabel independen secara keseluruhan berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen.

Hipotesis yang digunakan adalah:

$$H_0 : \beta_k = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \beta_k \neq 0 \text{ untuk } k = 1, 2, \dots, p$$

Statistik uji yang digunakan F hitung dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut:

$$F_{hitung} = \frac{MSR}{MSE} = \frac{SSR/k}{SSE(n-k-1)} = \frac{(\sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2) / k}{(\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2) (n-k-1)} \quad \dots(5)$$

Dimana:

SSR = *Sum of Square due to Regression*

SSE = *Sum of Square Error*

n = jumlah observasi

k = jumlah parameter (termasuk *intercept*) model

MSR = *Mean Square due to Regression*

SS = *Total Sum of Squares*

Dalam keputusan untuk uji ini, apabila nilai  $f_{hitung} > f_{(a,k,n-k-1)}$  atau  $p_{value} < a$  maka artinya paling sedikit ada satu variabel independen yang memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel dependen (Butarbutar 2020).

#### *Uji Parsial*

Uji parsial dipergunakan untuk mengetahui pengaruh masing-masing variabel independen ke variabel dependennya. Pada regresi berganda, hal ini diperlukan karena setiap variabel independen memberikan pengaruh yang tidak sama pada model. Hipotesis yang digunakan ialah: (Butarbutar 2020).

$$H_0 : \beta_k = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \beta_{k \neq} 0 \text{ untuk } k = 1, 2, \dots, p$$

Hipotesis nol artinya variabel independen yang diuji tidak berpengaruh secara signifikan terhadap variabel independennya. Hipotesis alternatif menunjukkan variabel yang diuji berpengaruh secara signifikan. Statistik uji yang digunakan adalah:

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\beta}_k}{SE(k)} = \frac{\hat{\beta}_k}{\sqrt{\text{var}(\hat{\beta}_k)}} \quad \dots(6)$$

Keputusan yang diambil dapat diperoleh dari perbandingan nilai t-hitung ( $t_{hitung}$ ) dengan nilai t-tabel  $\left( t_{\frac{\alpha}{2}; n-k-1} \right)$  atau bisa juga dilakukan dengan melihat nilai signifikansinya. Kriteria pengambilan keputusannya adalah akan tolak  $H_0$  ketika

$$| t_{hitung} > t_{tabel} |$$

Atau  $p_{value} < \alpha$  yang artinya terdapat pengaruh antara variabel independen terhadap variabel dependen. Sehingga dari uji-t dapat dilihat pengaruh setiap variabel independen ke pada variabel independennya (Butarbutar 2020).

*Geographically Weighted Regression Metode (GWR)  
Bandwidth Optimum*

Tahapan pertama yang harus dilakukan dalam analisis menggunakan GWR ialah menentukan nilai *bandwidth* optimum, tujuan dicarinya nilai *bandwidth* ialah untuk memperoleh bobot di suatu lokasi terhadap lokasi lainnya. Salah satu cara yang dapat dipergunakan untuk mendapatkan nilai *bandwidth* yang optimal ialah dengan metode *Cross Validation (CV)* yang didefinisikan sebagai berikut:

$$CV = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{\neq i}(h))^2 \quad \dots(7)$$

Nilai *bandwidth* ( $b_i$ ) yang optimal ialah  $b_i$  dengan nilai CV yang minimum (Butarbutar 2020).

*Matriks Pembobot*

Peran pembobot pada model GWR sangat penting dikarenakan nilai bobot tersebut mewakili letak data pengamatan satu dengan lainnya. Pembobotan di GWR bisa menggunakan beberapa metode, di antaranya ialah dengan fungsi kernel (*kernel function*) (Butarbutar 2020). Penelitian ini menggunakan fungsi pembobot *Adaptive Gaussian Kernel*. Menurut (Pramoedyo 2017) Fungsi *Adaptive Gaussian Kernel* cocok digunakan untuk pengamatan yang tersebar di pola yang tidak beraturan dan dapat menyesuaikan dengan kondisi titik-titik pengamatan. Fungsi *Adaptive Gaussian Kernel* bisa dituliskan sebagai berikut:

$$w_{ij} = \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{d_{ij}}{b_i} \right)^2 \right] \dots(8)$$



Di mana

$b_i$  = parameter *bandwidth* kernel

$d_{ij}$  = jarak *Euclidian* antara pengamatan pada titik ke- $i$  dan ke- $j$

#### Model GWR

Menurut (Fotheringham dkk. 2003) GWR merupakan satu di antara metode statistika yang bisa digunakan untuk menganalisis heterogenitas. Model GWR memperoleh penaksir parameter model yang bersifat lokal di setiap titik lokasi pengamatan. Dalam model GWR, variabel dependen  $y$  ditaksir dengan variabel independen yang setiap koefisien regresinya tergantung pada lokasi di mana data diamati. Model GWR dapat ditulis sebagai berikut:

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

Dengan

$y_i$  = nilai observasi variabel respon ke- $i$

$x_{ik}$  = nilai observasi variabel prediktor ke- $k$  pada lokasi pengamatan ke- $i$

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

$(u_i, v_i)$  = koordinat letak geografis (*longitude, latitude*) lokasi pengamatan ke- $i$

$\beta_k(u_i, v_i)$  = nilai penaksir parameter ke- $k$  pada lokasi pengamatan ke- $i$

$\varepsilon_i$  = *Error* pengamatan ke- $i$  (Fotheringham dkk. 2003).

#### Penaksir Parameter

Metode penaksiran parameter pada model GWR adalah dengan metode *Weighted Least Square* (WLS) yaitu dengan memberikan pembobot yang berbeda untuk setiap lokasi di mana data tersebut dikumpulkan. Misalkan pembobot untuk setiap lokasi ke- $i$  adalah  $w_j(u_i, v_i)$   $j = 1, 2, \dots, n$  maka parameter lokasi  $(u_i, v_i)$  diestimasi dengan menambahkan unsur pembobot dan kemudian meminimumkan jumlah kuadrat error berikut ini:

$$\sum_{j=1}^n w_j(u_i, v_i)\varepsilon_j^2 = \sum_{j=1}^n w_j(u_i, v_i)(y_j - \beta_0(u_i, v_i) - \beta_1(u_i, v_i)x_{j1} - \beta_2(u_i, v_i)x_{j2} - \dots - \beta_p(u_i, v_i)x_{jp})^2 \quad \dots(10)$$

#### Uji Kesesuaian (Goodness of Fit) Model GWR

Pengujian ini dilakukan dengan hipotesis sebagai berikut:

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

$H_1$  : Paling sedikit ada satu  $\beta_k(u_i, v_i)$  yang berhubungan dengan lokasi  $(u_i, v_i)$  (ada perbedaan yang signifikan antara model regresi global dan GWR).

Statistik uji yang digunakan adalah:

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

Jika  $F^*$  lebih besar dari  $F_{tabel}$  maka dapat diambil keputusan tolak  $H_0$ , dengan kata lain model GWR mempunyai *goodness of fit* yang lebih baik daripada model regresi global.  $F^*$  akan mengikuti distribusi F dengan derajat bebas  $df_1$  dan  $df_2$ . Jika diberikan tingkat signifikansi sebesar  $\alpha$ , maka diambil keputusan dengan menolak  $H_0$  jika nilai  $F^* > t_{\alpha;df_1,df_2}$  (Caraka dan Yasin 2017).

## METODOLOGI

Penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah penelitian kepustakaan (*library research*) dan kemudian melakukan penelitian implementasi perangkat lunak. Riset kepustakaan atau biasa disebut studi pustaka adalah rangkaian kegiatan yang berkaitan dengan metode pengumpulan data pustaka, membaca dan mencatat serta mengolah bahan penelitian. Pelaksanaan implemtasi dilakukan dengan *software R*. Metode pada penelitian ini adalah penelitian terapan dengan pendekatan penelitian kuantitatif deskripsi. Jenis data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh atau dikumpulkan dari Badan Pusat Statistik (BPS) provinsi Sumatera Utara. Data yang diperlukan pada penelitian ini adalah nilai IPM, Umur Harapan Hidup, Harapan Lama Sekolah, Rata-rata Lama Sekolah, Pendapatan per Kapita yang disesuaikan di Sumatera Utara tahun 2021. Adapun langkah-langkah yang digunakan pada penelitian ini adalah:

### 1. Mengumpulkan Data

Data yang dikumpulkan pada penelitian ini ialah data nilai IPM, Umur Harapan Hidup, Harapan Lama Sekolah, Rata-rata Lama Sekolah, dan Pendapatan per Kapita yang disesuaikan, serta data titik koordinat masingmasing Kab/Kota di Sumatera Utara.

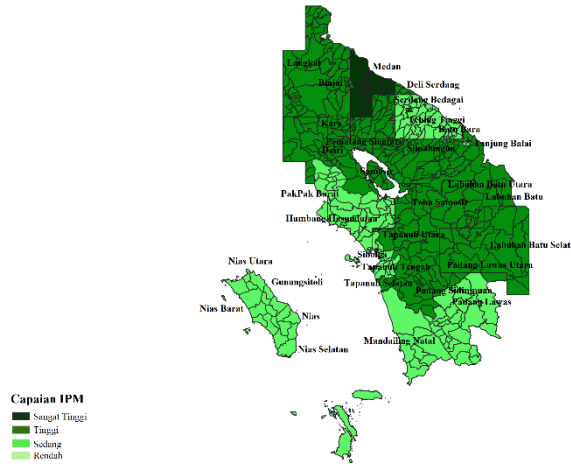
### 2. Tahap Pengolahan Data

- (a) Melakukan analisis deskriptif data.
- (b) Melakukan analisis regresi OLS. Langkah-langkah analisis regresi yang dilakukan sebagai berikut:
  - i. Memodelkan data.
  - ii. Melakukan pengujian asumsi klasik.
  - iii. Melakukan uji signifikansi penduga parameter analisis regresi secara parsial dan simultan.
- (c) Melakukan analisis GWR Langkah-langkah analisis GWR yang dilakukan antara lain:
  - i. Menentukan koordinat *longitude-latitude* setiap titik lokasi pengamatan
  - ii. Menghitung jarak *Euclidean* antara lokasi pengamatan.
  - iii. Menghitung matriks pembobot dengan *bandwidth* optimum.
  - iv. Melakukan pendugaan parameter model.
  - v. Melakukan uji kesesuaian (*goodness of fit*) model.

## HASIL PENELITIAN

### *Deskripsi Data*

Berdasarkan data yang diperoleh dari website resmi Badan Pusat Statistik Sumatera Utara. Indeks Pembangunan Manusia di Provinsi Sumatera Utara tahun 2021 terdiri dari 33 Kab/Kota. Gambaran klasifikasi data IPM berdasarkan Kab/Kota di Sumatera Utara dapat dilihat dalam peta berikut ini:



Gambar 1. Klasifikasi IPM Sumatera Utara Tahun 2021

Skor pencapaian pembangunan manusia di suatu wilayah pada waktu tertentu diklasifikasikan menjadi 4 kelompok yaitu sangat tinggi ( $IPM \geq 80$ ), tinggi ( $70 \leq IPM < 80$ ), sedang ( $60 \leq IPM < 70$ ), dan rendah ( $IPM < 60$ ) (Karyono dkk. 2021).

Berdasarkan gambar 1, terlihat bahwa pencapaian nilai Indeks Pembangunan Manusia di Kota Medan masuk ke dalam golongan sangat tinggi dengan nilai 81,21. Tapanuli Selatan, Tapanuli Utara, Toba Samosir, Labuhan Batu, Asahan, Simalungun, Dairi, Karo, Deli Serdang, Langkat, Samosir, Serdang Bedagai, Padang Lawas Utara, Labuhan Batu Selatan, Labuhan Batu Utara, Kota Sibolga, Kota Pematang Siantar, Kota Tebing Tinggi, Kota Binjai, dan Kota Padangsidimpuan masuk ke dalam golongan tinggi dengan rentang nilai 70,11 sampai 79,17. Nias, Mandailing Natal, Tapanuli Tengah, Nias Selatan, Humbang Hasundutan, Pakpak Bharat, Batu Bara, Padang Lawas, Nias Utara, Nias Barat, Kota Tanjung Balai, dan Kota Gunungsitoli masuk ke dalam golongan sedang dengan rentang nilai 61,99 sampai 69,61. Berdasarkan uraian di atas terlihat bahwa kab/kota di Sumatera Utara terbagi menjadi 3 golongan, yaitu 1 kota dengan nilai capaian IPM yang sangat tinggi, 20 kab/kota dengan nilai capaian IPM tinggi dan 12 kab/kota dengan nilai capaian IPM sedang.

Table 2. Analisis Deskriptif Data Ipm Sumatera Utara Tahun 2021

Variabel	Min	Max	Mean	Satuan
Indeks Pembangunan Manusia ( $y$ )	61,96	81,21	71,06	-
Umur Harapan Hidup ( $x_1$ )	62,65	73,77	69,14	Tahun
Harapan Lama Sekolah ( $x_2$ )	12,27	14,75	13,24	Tahun

Rata-Rata Lama Sekolah ( $x_3$ )	5,64	11,48	9,18	Tahun
Pendapatan per Kapita ( $x_4$ )	5,924	14,99	10,401	Juta Rupiah

Dari tabel di atas memperlihatkan bahwa Indeks Pembangunan Manusia ( $y$ ) ditingkat Kab/Kota di Sumatera Utara berkisar antara 61,99 (Nias Barat) hingga 81,21 (Kota Medan). Pada dimensi umur panjang dan hidup sehat, Umur Harapan Hidup saat lahir ( $x_1$ ) berkisar antara 62,65 tahun (Mandailing Natal) hingga 73,77 tahun (Kota Pematang Siantar). Pada dimensi pengetahuan, Harapan Lama Sekolah ( $x_2$ ) berkisar antara 12,27 tahun (Nias Selatan) hingga 14,75 tahun (Kota Medan), serta Rata-rata Lama Sekolah ( $x_3$ ) berkisar antara 5,64 tahun (Nias) hingga 11,48 tahun (Kota Medan). Pengeluaran per kapita ( $x_4$ ) di tingkat Kab/Kota berkisar antara 5,924 juta rupiah (Nias Barat) hingga 14,999 juta rupiah per tahun (Kota Medan).

*Uji Asumsi Klasik*

Table 3. Hasil Uji Asumsi Klasik

Uji	Hasil Uji	Kesimpulan
Normalitas	$p\text{-value} = 0,61$	Terpenuhi
Heteroskedastisitas	$p\text{-value} = 0,00$	Terpenuhi
Multikolinearitas	VIF $X < 10$	Terpenuhi
no Autokorelasi	$p\text{-value} = 0,4$	Terpenuhi

*Analisis Metode OLS*

*Model OLS*

Adapun perolehan model Indeks Pembangunan Manusia di Sumatera Utara dengan metode OLS menggunakan *software* R 4.1.3. dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\hat{y}_{Su} = 8,38 + 0,42x_1 + 0,73x_2 + 1,38x_3 + 1,03x_4$$

*Estimasi Parameter Model OLS*

Table 4. Estimasi Parameter Model OLS

	Estimate	Std.Error	t - value	Pr(>  t )
(Intercept)	8,3846	1,7937	4,674	6,75e - 05
x1	0,4257	0,0219	19,424	< 2e - 16
x2	0,7340	0,1176	6,240	9,62e - 07
x3	1,3830	0,0739	18,705	< 2e - 16
x4	1,0397	0,0416	24,957	< 2e - 16

*Uji Signifikansi*

*Uji Simultan*

Uji simultan atau uji *f* berguna untuk melihat apakah variabel independen (*x*) secara keseluruhan mempunyai pengaruh yang sama terhadap variabel dependen (*y*). Dengan bantuan *software* R diperoleh nilai  $f_{hit} = 1926 > f_{0,05,4,28} = 2,71$  dan nilai  $p - value = 0,000 < \alpha = 0,05$ . Maka tolak  $H_0$  yang artinya variabel independen berpengaruh secara simultan terhadap nilai Indeks Pembanguna Manusia.

*Uji Parsial*

Table 5. Uji Parsial

Variabel	<i>t<sub>hit</sub></i>	<i>p - value</i>	Kesimpulan
UHH ( <i>x</i> <sub>1</sub> )	19,424	0,000	Signifikan
HLS ( <i>x</i> <sub>2</sub> )	6,240	0,000	Signifikan
RLS ( <i>x</i> <sub>3</sub> )	18,705	0,000	Signifikan
PKD ( <i>x</i> <sub>4</sub> )	24,957	0,000	Signifikan

*Analisis Metode GWR*

Sebelum melakukan analisis dengan menggunakan GWR, terlebih dahulu data harus memenuhi asumsi heteroskedastisitas. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan menggunakan *Breusch-Pagan Test*, diperoleh bahwa data mengandung pengaruh heteroskedastisitas. Diketahui dengan nilai  $p - value$  statistik pada *Breusch-Pagan Test* adalah 0,0026, maka dengan menggunakan tingkat signifikansi sebesar 5% dapat disimpulkan bahwa terdapat heteroskedastisitas pada data.

*Bandwidth Optimum*

Langkah pertama yang dilakukan sebelum memulai analisis GWR adalah menentukan *bandwidth* (bobot) optimum menggunakan nilai CV minimum yang selanjutnya akan digunakan dalam menentukan fungsi pembobot *Adaptive kernel Gaussian*, di mana nilai *bandwidth* yang dihasilkan akan berbeda di setiap lokasi pengamatan. Hal ini dikarenakan pada penelitian ini diharapkan mampu memperoleh *bandwidth* yang dapat menyesuaikan seiring bertambahnya jarak antarwilayahnya. Dengan menggunakan *software* R, diperoleh nilai *bandwidth* setiap lokasi pengamatan dengan CV minimum sebesar 1,1908.

*Matriks Pembobot*

Untuk memperoleh nilai dalam fungsi pembobot *Adaptive Kernel Gaussian* pada persamaan (2.24), misal untuk mengetahui pembobot pada nias sebagai lokasi ke-1 (*u*<sub>1</sub>, *v*<sub>1</sub>), maka nilai *bandwidth* dapat disubstitusikan menggunakan persamaan berikut (Fotheringham dkk. 2003):

$$w_{12} = \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{d_{12}}{0,4053} \right)^2 \right]$$

Di mana  $d_{12}$  merupakan jarak *euclidean* dari lokasi ke-1 dan ke-2. Fungsi di atas merupakan fungsi yang menggambarkan batas jarak suatu wilayah yang masih memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap wilayah lain di sekitarnya. Jika jarak antara lokasi ke-1 dengan lokasi ke-2 lebih besar atau sama dengan 0, 4053km, maka lokasi tersebut akan diberi bobot nol. Sedangkan jika jarak antar lokasi ke-1 dengan lokasi ke-2 kurang dari 0, 4053 km, maka akan diberi bobot mendekati satu seiring semakin dekatnya jarak antara ke-1 dengan lokasi ke-2.

*Estimasi Parameter Model GWR*

Adapun perolehan estimasi parameter model Indeks Pembangunan Manusiadi Sumatera Utara dengan metode GWR menggunakan *software* R 4.1.3. yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Table 6. Nilai Min dan Maks Estimasi Parameter Model GWR

	<i>Min.</i>	<i>1stQu</i>	<i>Med</i>	<i>3rdQu</i>	<i>Max.</i>
<b>(In)</b>	-35, 716	4, 074	4, 547	5, 123	7, 538
<b><math>x_1</math></b>	0, 436	0, 476	0, 484	0, 539	1, 224
<b><math>x_2</math></b>	-0, 481	0, 765	0, 844	0, 926	1, 089
<b><math>x_3</math></b>	0, 802	1, 138	1, 176	1, 266	1, 602
<b><math>x_4</math></b>	0, 841	0, 933	0, 990	1, 033	1, 589

*Uji Kesesuaian (Goodness of Fit) Model*

Pengujian kesesuaian model pada penelitian ini menggunakan uji *f* untuk melihat apakah ada perbedaan signifikan antara model OLS dengan model GWR (Caraka dan Yasin 2017).

Table 7. Uji Kesesuaian Model GWR

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>fhit</i>	<i>ftabel</i>
<b>OLS Res</b>	5	2, 90			
<b>GWR Imp</b>	17, 05	2, 65	0, 15		
<b>GWR Res</b>	10, 94	0, 24	0, 02	6, 99	3, 33

Diperoleh keputusan  $H_0$  ditolak yang artinya ada perbedaan yang signifikan antara model OLS dengan model GWR atau dapat dikatakan bahwa model GWR lebih baik dalam menggambarkan nilai IPM daripada model OLS.

*Uji Parsial Model GWR*

Pengujian parameter dilakukan dengan tujuan mengetahui variabel-variabel yang berpengaruh secara signifikan terhadap nilai Indeks Pembangunan Manusia sehingga dapat meningkat pada tahun berikutnya. Uji parameter dilakukan dengan menguji masing-masing variabel independen terhadap variabel dependen secara parsial.

Dengan demikian setiap kab/kota di Provinsi Sumatera Utara memiliki model dengan karakteristik parameter yang berbeda dengan wilayah lainnya. Berikut ini merupakan hipotesis dari uji parsial:

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

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

Table 8.  $t_{hitung}$  Model GWR

No.	Kab/Kota	UHH	HLS	RLS	PKD
1.	Nias	8.0948	-0.5619	2.9292	3.1503
2.	Mandailing N	28.2538	7.4619	24.8826	34.3773
3.	Tapanuli S	21.7766	7.0119	17.0743	30.1815
4.	Tapanuli T	31.8015	8.7503	20.7381	33.8740
5.	Tapanuli U	26.9469	9.4307	16.7872	36.7194
6.	Toba S	34.0016	12.9893	20.3011	40.3343
7.	Labuhan B	30.3999	10.9455	18.8925	32.6793
8.	Asahan	23.8666	10.2889	17.6231	26.7666
9.	Simalungun	23.3672	9.2575	14.8970	27.0502
10.	Dairi	25.9129	10.2411	23.4571	42.1618
11.	Karo	20.5577	9.3631	15.6087	37.6345
12.	Deli S	16.2272	10.1498	12.0883	25.3020
13.	Langkat	23.0701	9.9194	13.6660	28.8027
14.	Nias Selatan	22.8764	7.9988	8.8331	23.8359
15.	Humbang H	24.9130	8.8265	13.7461	31.6425
16.	Pakpak B	24.9841	8.9942	23.8025	37.2226
17.	Samosir	29.3214	12.6241	20.6373	42.1015
18.	Serdang B	22.5775	9.5603	14.2312	25.0338
19.	Batu Bara	22.6420	9.0606	13.0465	16.7966
20.	Padang LU	23.1406	7.8074	17.5421	26.4143
21.	Padang L	22.5303	6.8949	17.3778	23.2840
22.	Labuhan BS	32.9466	10.7359	19.3026	30.9839
23.	Labuhan BU	30.1878	10.6040	17.8875	31.8721
24.	Nias Utara	18.2178	4.9551	10.3996	20.9933
25.	Nias Barat	7.1469	-0.1295	1.3786	2.0879
26.	K Sibolga	27.7661	7.4760	17.8540	31.9405
27.	Kota TB	25.1181	11.2623	18.5131	31.0490
28.	Kota PS	26.3087	10.2698	15.8073	32.3764
29.	Kota Tebing T	22.1217	9.2823	14.1276	22.4910
30.	Kota Medan	15.6723	10.0598	11.8355	22.9271
31.	Kota Binjai	14.3937	9.5699	11.0558	22.8444

32.	Kota PS	26.5364	7.4821	20.8022	33.0649
33.	Kota GS	17.0081	3.4349	9.9339	18.8484

Diketahui daerah penolakan pada pengujian parameter model GWR menyatakan bahwa keputusan tolak  $H_0$  jika nilai  $t_{hit} > t_{\alpha/2;df2}$  dengan tingkat signifikansi sebesar  $\alpha = 5\%$ . Dengan melihat tabel  $t$ , maka diketahui nilai  $t_{0,05/2;28} = 2,048$ , berarti suatu keputusan tolak  $H_0$  jika nilai  $t_{hit} > 2,048$ .

#### Model GWR

Seperti yang telah dibahas sebelumnya mengenai variabel signifikan, pemodelan GWR untuk masing-masing kab/kota akan berbeda, dikarenakan nilai Indeks Pembangunan Manusia masing-masing kab/kota di Provinsi Sumatera Utara secara signifikan dipengaruhi oleh faktor-faktor yang berbeda. Untuk model lengkap GWR yang dibentuk dapat dilihat pada tabel berikut:

Table 9. Model GWR Kab/Kota Di Provinsi Sumatera Utara

No.	Kab/Kota	Model GWR
1.	Nias	$\hat{y} = -29,2930 + 1,1684x_1 + 1,6024x_3 + 1,0331x_4$
2.	Mandailing Natal	$\hat{y} = 7,5389 + 0,4361x_1 + 0,7579x_2 + 1,3630x_3 + 1,0436x_4$
3.	Tapanuli Selatan	$\hat{y} = 5,7038 + 0,4650x_1 + 0,8443x_2 + 1,2660x_3 + 1,0105x_4$
4.	Tapanuli Tengah	$\hat{y} = 5,1231 + 0,4674x_1 + 0,8344x_2 + 1,2783x_3 + 1,0485x_4$
5.	Tapanuli Utara	$\hat{y} = 4,2520 + 0,4788x_1 + 0,9168x_2 + 1,1965x_3 + 1,0280x_4$
6.	Toba Samosir	$\hat{y} = 4,3896 + 0,4812x_1 + 0,9321x_2 + 1,1753x_3 + 0,9994x_4$
7.	Labuhan Batu	$\hat{y} = 4,5662 + 0,4812x_1 + 0,9380x_2 + 1,1838x_3 + 0,9692x_4$
8.	Asahan	$\hat{y} = 4,3329 + 0,4801x_1 + 1,0034x_2 + 1,1544x_3 + 0,9451x_4$
9.	Simalungun	$\hat{y} = 4,2570 + 0,4884x_1 + 0,9884x_2 + 1,1386x_3 + 0,9315x_4$
10.	Dairi	$\hat{y} = 6,8684 + 0,4844x_1 + 0,7011x_2 + 1,2477x_3 + 0,9685x_4$
11.	Karo	$\hat{y} = 5,9111 + 0,5122x_1 + 0,7034x_2 + 1,1764x_3 + 0,9405x_4$
12.	Deli Serdang	$\hat{y} = 3,2249 + 0,5504x_1 + 0,8071x_2 + 1,1208x_3 + 0,8655x_4$
13.	Langkat	$\hat{y} = 4,2960 + 0,5399x_1 + 0,7653x_2 + 1,1145x_3 + 0,8918x_4$



14.	Nias Selatan	$\hat{y} = -10,3463 + 0,6305x_1 + 1,0896x_2 + 0,8021x_3 + 1,5896x_4$
15.	Humbang H.	$\hat{y} = 4,0740 + 0,4901x_1 + 0,8701x_2 + 1,1748x_3 + 1,0508x_4$
16.	Pakpak Bharat	$\hat{y} = 7,2466 + 0,4649x_1 + 0,7074x_2 + 1,2983x_3 + 1,0069x_4$
17.	Samosir	$\hat{y} = 4,7644 + 0,4954x_1 + 0,8458x_2 + 1,1627x_3 + 0,9900x_4$
18.	Serdang Bedagai	$\hat{y} = 4,5475 + 0,5093x_1 + 0,8945x_2 + 1,1757x_3 + 0,8541x_4$
19.	Batu Bara	$\hat{y} = 4,6711 + 0,4848x_1 + 1,0017x_2 + 1,1726x_3 + 0,8745x_4$
20.	Padang Lawas U.	$\hat{y} = 5,6083 + 0,4679x_1 + 0,8568x_2 + 1,2547x_3 + 0,9957x_4$
21.	Padang Lawas	$\hat{y} = 6,3755 + 0,4565x_1 + 0,8243x_2 + 1,2915x_3 + 1,0046x_4$
22.	Labuhan Batu S.	$\hat{y} = 4,7680 + 0,4766x_1 + 0,9133x_2 + 1,2119x_3 + 0,9858x_4$
23.	Labuhan Batu U.	$\hat{y} = 4,3696 + 0,4806x_1 + 0,9529x_2 + 1,1835x_3 + 0,9739x_4$
24.	Nias Utara	$\hat{y} = -13,5680 + 0,7269x_1 + 0,7551x_2 + 0,9441x_3 + 1,5728x_4$
25.	Nias Barat	$\hat{y} = -35,7168 + 1,2244x_1 + 1,0797x_4$
26.	Kota Sibolga	$\hat{y} = 5,0516 + 0,4675x_1 + 0,8448x_2 + 1,2681x_3 + 1,0511x_4$
27.	Kota Tanjung B.	$\hat{y} = 4,6879 + 0,4821x_1 + 0,9746x_2 + 1,1558x_3 + 0,9331x_4$
28.	Kota Pematang S.	$\hat{y} = 4,1469 + 0,5004x_1 + 0,9256x_2 + 1,1380x_3 + 0,9397x_4$
29.	Kota Tebing T.	$\hat{y} = 4,7584 + 0,5009x_1 + 0,9260x_2 + 1,1885x_3 + 0,8411x_4$
30.	Kota Medan	$\hat{y} = 2,9995 + 0,5556x_1 + 0,8207x_2 + 1,0980x_3 + 0,8576x_4$
31.	Kota Binjai	$\hat{y} = 2,9837 + 0,5621x_1 + 0,7946x_2 + 1,0835x_3 + 0,8631x_4$
32.	Kota Padangs.	$\hat{y} = 6,1710 + 0,4559x_1 + 0,8282x_2 + 1,2933x_3 + 1,0195x_4$
33.	Kota Gunungsitoli	$\hat{y} = -16,7867 + 0,7994x_1 + 0,6007x_2 + 1,0052x_3 + 1,5322x_4$

## PEMBAHASAN

Adapun perolehan model Indeks Pembangunan Manusia di Sumatera Utara dengan metode OLS menggunakan *software* R 4.1.3. dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\hat{y}_{Su} = 8,38 + 0,42x_1 + 0,73x_2 + 1,38x_3 + 1,03x_4$$

Dari model tersebut dapat diketahui bahwa nilai  $\hat{\beta}^0$  yang artinya tanpa dipengaruhi oleh variabel apapun, nilai IPM di Sumatera Utara adalah sebesar 8,3846. Untuk nilai  $\hat{\beta}^1$ , artinya pada setiap kenaikan nilai Umur Harapan Hidup ( $x_1$ ) sebesar satu satuan maka nilai IPM di Sumatera Utara akan meningkat sebesar 0,4257 dengan variabel lain dianggap konstan. Untuk nilai  $\hat{\beta}^2$ , artinya pada setiap kenaikan nilai Harapan Lama Sekolah ( $x_2$ ) sebesar satu satuan maka nilai IPM di Sumatera Utara akan meningkat sebesar 0,7340 dengan variabel lain dianggap konstan. Untuk nilai  $\hat{\beta}^3$ , artinya pada setiap kenaikan nilai Rata-rata Lama Sekolah ( $x_3$ ) sebesar satu satuan maka nilai IPM di Sumatera Utara akan meningkat sebesar 1,3830 dengan variabel lain dianggap konstan. Untuk nilai  $\hat{\beta}^4$ , artinya pada setiap kenaikan nilai Pendapatan per Kapita ( $x_4$ ) sebesar satu satuan maka nilai IPM di Sumatera Utara akan meningkat sebesar 1,0397 dengan variabel lain dianggap konstan.

Berdasarkan tabel 9 di atas diperoleh model GWR dengan nilai parameter yang berbeda-beda untuk setiap lokasi pengamatan yang terdiri dari kab/kota di Sumatera Utara. Salah satunya adalah model untuk Kota Medan yaitu:

$$\hat{y}_{Medan} = 2,99 + 0,55x_1 + 0,82x_2 + 1,09x_3 + 0,85x_4$$

Dari model tersebut dapat diketahui bahwa nilai  $\hat{\beta}^1$ , artinya pada setiap kenaikan nilai Umur Harapan Hidup ( $x_1$ ) sebesar satu satuan maka nilai IPM di Kota Medan akan meningkat sebesar 0,5556 dengan variabel lain dianggap konstan. Untuk nilai  $\hat{\beta}^2$ , artinya pada setiap kenaikan nilai Harapan Lama Sekolah ( $x_2$ ) sebesar satu satuan maka nilai IPM di Kota Medan akan meningkat sebesar 0,8207 dengan variabel lain dianggap konstan. Untuk nilai  $\hat{\beta}^3$ , artinya pada setiap kenaikan nilai Rata-rata Lama Sekolah ( $x_3$ ) sebesar satu satuan maka nilai IPM di Sumatera Utara akan meningkat sebesar 1,0980 dengan variabel lain dianggap konstan. Untuk nilai  $\hat{\beta}^4$ , artinya pada setiap kenaikan nilai Pendapatan per Kapita ( $x_4$ ) sebesar satu satuan maka nilai IPM di Sumatera Utara akan meningkat sebesar 0,8576 dengan variabel lain dianggap konstan.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji serta analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini, diperoleh Model Indeks Pembangunan Manusia di Provinsi Sumatera Utara Tahun 2021 menggunakan model OLS adalah  $\hat{y} = 8,38 + 0,42x_1 + 0,73x_2 + 1,38x_3 + 1,03x_4$ . Selanjutnya diperoleh Model Indeks Pembangunan Manusia di Provinsi Sumatera Utara Tahun 2021 menggunakan model GWR dapat dilihat pada tabel 9. Dengan menggunakan metode OLS dan metode GWR pada Indeks Pembangunan manusia di Sumatera Utara, diperoleh faktor yang sama di mana faktor yang paling besar mempengaruhi nilai Indeks Pembangunan Manusia di

Sumatera Utara dengan melihat nilai penduga parameter terbesar adalah nilai Rata-Rata Lama Sekolah.

### **PENELITIAN LANJUTAN**

Penelitian ini tidak luput dari kekurangan, peneliti berharap agar peneliti selanjutnya dapat memperdalam kajian mengenai IPM ini dan menemukan factor lain yang dapat meningkatkan IPM.

### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan masukan serta arahan kepada penulis dalam penyelesaian artikel ini.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Algifari, A. (2000). Analisis Regresi, Teori, Kasus dan Solusi. Penerbit BPFE Yogyakarta.
- Azizah, N., & Pramoedyo, H. (2020, February). Efektifitas Model Regresi OLS (Ordinary Least Square) dan Geographically Weighted Regression (GWR) pada Indeks Pembangunan Manusia (IPM) di Provinsi Jawa Timur. In *Prosiding SI MaNIs (Seminar Nasional Integrasi Matematika dan Nilai-Nilai Islami)* (Vol. 3, No. 1, pp. 061-071).
- Butarbutar, D. C. (2020). Penerapan Metode Geographically Weighted Regression pada Indeks Pembangunan Manusia di Indonesia.
- Caraka, R. E., & Yasin, H. (2017). Geographically weighted regression (GWR) sebuah pendekatan regresi geografis.
- Danang, S. (2009). Analisis Regresi dan Uji Hipotesis. Med Press. Yogyakarta.
- Fotheringham, A. S., Brunson, C., & Charlton, M. (2003). *Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships*. John Wiley & Sons.
- Harlan, J. (2018). Analisis Regresi Linear (Edisi Pertama). Depok: Penerbit Gunadarma.
- Kadri, I. A., Susilawati, M., & Sari, K. (2020). Faktor-Faktor Yang Berpengaruh Signifikan Terhadap Indeks Pembangunan Manusia Di Provinsi Papua. *E-Jurnal Matematika*, 9(1), 31-36.
- Karyono, Y., Tusianti, E., Gunawan, I. G. N. A. R., Nugroho, A., & Clarissa, A. (2021). Indeks Pembangunan Manusia 2020.

- Lutfiani, N., Sugiman, S., & Mariani, S. (2019). Pemodelan Geographically Weighted Regression (GWR) dengan Fungsi Pembobot Kernel Gaussian dan Bi-Square. *UNNES Journal of Mathematics*, 8(1), 82-91.
- Mahara, D. O., & Fauzan, A. (2021). Impacts of Human Development Index and Percentage of Total Population on Poverty using OLS and GWR models in Central Java, Indonesia. *EKSAKTA: Journal of Sciences and Data Analysis*, 142-154.
- Maulana, A., Meilawati, R., & Widiastuti, V. (2019). Pemodelan Indeks Pembangunan Manusia (IPM) Metode Baru Menurut Provinsi Tahun 2015 Menggunakan Geographically Weighted Regression (GWR). *Indonesian Journal of Applied Statistics*, 2(1), 21-33.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2021). *Introduction to linear regression analysis*. John Wiley & Sons.
- Otok, B. W., Guritno, S., & Haryatmi, S. (2017). Mengatasi penyimpangan asumsi normalitas pada pemodelan persamaan struktural menggunakan bootstrap. *Jurnal Widya Manajemen & Akuntansi*, 7(2).
- Pardede, N. W. (2021). Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Indeks Pembangunan Manusia (IPM) di Sumatera Utara.
- Pramoedyo, H. (2017). Analisis Spasial Dasar.
- Putri, Z. (2018). Pemodelan Indeks Pembangunan Manusia Menggunakan Geographically Weighted Regression (GWR)(Studi Kasus: Indeks Pembangunan Manusia di Indonesia Tahun 2016).
- Rosidi, M. (2019). Metode numerik menggunakan R untuk teknik lingkungan. *Piktochart: Bandung*.
- Sartika, E., & Murniati, S. (2021, November). Application of the Geographically Weighted Regression (GWR) with the Bi-Square Weighting Function on the Poverty Model in the City/Regency of West Java. In *2nd International Seminar of Science and Applied Technology (ISSAT 2021)* (pp. 201-207). Atlantis Press.
- Subanti, S. (2014). Ekonometri.
- Widarjono, A. (2007). Ekonometrika: Teori dan Aplikasi untuk Ekonomi dan Bisnis, edisi kedua. *Yogyakarta: Ekonisia FE Universitas Islam Indonesia*.
- Yan, X., & Su, X. (2009). *Linear regression analysis: theory and computing*. world scientific.