



**PEMODELAN INDEKS PEMBANGUNAN MANUSIA DI PROVINSI JAWA TENGAH
TAHUN 2022 MENGGUNAKAN MODEL REGRESI SPASIAL DENGAN PEMBOBOT
QUEEN CONTIGUITY DAN *K-NEAREST NEIGHBOR***

Ryan Sidiq Permana^{a*}, Kismiantini^a, Ezra Putranda Setiawan^a

Program Studi Statistika, Universitas Negeri Yogyakarta

*e-mail: ryansidiq.2018@student.uny.ac.id; kismi@uny.ac.id; ezra.ps@uny.ac.id

Abstrak. Salah satu cara untuk mengukur keberhasilan pembangunan adalah melalui Indeks Pembangunan Manusia (IPM). Provinsi Jawa Tengah merupakan provinsi di Pulau Jawa dengan IPM terendah nomor dua. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui pemodelan regresi spasial dengan pembobot spasial terbaik dalam menjelaskan faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan pada IPM di Provinsi Jawa Tengah tahun 2022 yang terdiri dari 29 kabupaten dan 6 kota. Variabel penelitian ini meliputi IPM, tingkat partisipasi angkatan kerja, upah minimum kabupaten/kota, dan jumlah penduduk miskin. Model regresi spasial dalam penelitian ini menggunakan dua pembobot spasial, yaitu pembobot spasial *Queen Contiguity* dan *K-Nearest Neighbor*. Penelitian ini menggunakan pemodelan *Spatial Autoregressive* (SAR), *Spatial Error Model* (SEM), dan *Spatial Autoregressive Moving Average* (SARMA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa model regresi spasial terbaik pada penelitian ini adalah pemodelan SARMA dengan pembobot spasial *K-Nearest Neighbor* dengan nilai AIC sebesar 168,73. Variabel tingkat partisipasi angkatan kerja, upah minimum kabupaten/kota, dan jumlah penduduk miskin memiliki pengaruh terhadap IPM di Provinsi Jawa Tengah.

Kata kunci: *Indeks Pembangunan Manusia, K-Nearest Neighbor, Regresi Spasial, Queen Contiguity.*

Abstract. Human development is an effort to improve the quality of human life through in various aspects. One way to measure development success is through the Human Development Index (HDI). Central Java is the lowest HDI province in Java after East Java. The aim of this research is to determine spatial regression modeling with the best spatial weighting in explaining the factors that significantly influence HDI in Central Java Province in 2022 which consists of 29 districts and 6 cities. The variables of this research include HDI, labor force participation rate, district/city minimum wages, and the number of poor people. The spatial regression model in this research uses two spatial weightings, namely the *Queen Contiguity* and *K-Nearest Neighbor*. This research uses *Spatial Autoregressive* (SAR), *Spatial Error Model* (SEM), and *Spatial Autoregressive Moving Average* (SARMA) modeling. The research results show that the best spatial regression model in this research is SARMA modeling with *K-Nearest Neighbor* spatial weighting with an AIC value of 168,73. The variables of labor force participation rate, district/city minimum wages, and the number of poor people influence the HDI in Central Java Province.

Keywords: *Human Development Index (HDI), K-Nearest Neighbor, Spatial Regression, Queen Contiguity.*

PENDAHULUAN

Pembangunan manusia dapat didefinisikan sebagai upaya untuk meningkatkan kualitas hidup manusia melalui berbagai aspek, seperti pendidikan, kesehatan, akses terhadap sumber daya, dan keamanan. Tujuan utama dari pembangunan manusia adalah untuk meningkatkan kesejahteraan manusia secara merata, menyeluruh, dan berkelanjutan (Badan Pusat Statistik, 2022). Indeks pembangunan manusia atau biasa dikenal dengan istilah IPM merupakan salah satu cara pemerintah dalam mengukur keberhasilan pembangunan.

Pada tahun 1990, *United National Development Programme* (UNDP) pertama kali mengenalkan Indeks Pembangunan Manusia (IPM) melalui *Human Development Report* (HDR) yang dipublikasikan secara berkala dalam laporan tahunan (UNDP, 1990). IPM menurut BPS Indonesia didasarkan pada tiga dimensi utama, yaitu umur panjang dan hidup sehat, pengetahuan, dan standar hidup layak (Badan Pusat Statistik, 2022).

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), pencapaian IPM di Indonesia pada lima tahun terakhir selalu mengalami peningkatan setiap tahunnya. Setiap daerah di Indonesia memiliki karakteristik masing-masing dan faktor yang mempengaruhi kecenderungan pembangunan manusia di setiap daerah juga berbeda, sehingga capaian IPM pada tingkat kabupaten/kota tahun 2022 sangat bervariasi. Provinsi Jawa Tengah dengan IPM sebesar 72,79 merupakan provinsi di Pulau Jawa yang memiliki IPM terendah nomor dua setelah Provinsi Jawa Timur dengan IPM sebesar 72,75. Pencapaian IPM setiap provinsi di Pulau Jawa tahun 2022 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. IPM Menurut Provinsi di Pulau Jawa tahun 2022 dan Pertumbuhan

Provinsi	IPM Menurut Provinsi	Pertumbuhan
DKI Jakarta	81,65	0,67
DI Yogyakarta	80,64	0,52
Banten	73,32	0,83
Jawa Barat	73,12	0,92
Jawa Tengah	72,79	0,87
Jawa Timur	72,75	0,85

Pemerintah menjadikan indeks pembangunan manusia sebagai dasar tolak ukur untuk menentukan keberhasilan pembangunan manusia di setiap daerah. Setiap daerah tentu memiliki tingkat keberhasilan pembangunan manusia yang berbeda-beda, sehingga diperlukan analisis pembangunan manusia menggunakan regresi spasial. Regresi spasial digunakan untuk mengetahui variabel independen yang berpengaruh terhadap indeks pembangunan manusia dengan memperhatikan aspek wilayah atau spasial.

Penelitian yang dilakukan Alwi et al. (2019) oleh mengenai pemodelan IPM di Provinsi Jawa Tengah menggunakan analisis regresi spasial menunjukkan bahwa model regresi spasial terbaik adalah model SAR dengan pembobot spasial *Queen Contiguity* dan variabel independen yang berpengaruh terhadap IPM adalah nilai-nilai IPM di wilayah tetangga, angka partisipasi kasar, tenaga kesehatan, dan upah minimum kabupaten/kota. Penelitian yang dilakukan oleh Fauzi, (2016) tentang model regresi spasial terbaik IPM di Provinsi Jawa Tengah dengan pembobot spasial *Rook Contiguity* dan *Queen Contiguity* menunjukkan bahwa model regresi spasial terbaik adalah model SEM dengan pembobot spasial *Rook Contiguity*. Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Novitasari & Khikmah (2019) tentang penerapan model regresi spasial pada indeks pembangunan manusia di Jawa Tengah dengan pembobot spasial *Queen Contiguity* menunjukkan

bahwa model regresi spasial terbaik adalah model SAR dan variabel independen yang berpengaruh terhadap IPM adalah sarana kesehatan, kepadatan penduduk, pengeluaran per kapita dan kemiskinan.

Berdasarkan beberapa penelitian diatas, belum ada penelitian tentang IPM di Jawa Tengah yang menggunakan model regresi spasial dengan pembobot spasial *K-Nearest Neighbor*. Pembobot *Queen Contiguity* adalah pembobot yang berdasarkan lokasi yang bersinggungan antar sisi dan sudut, sedangkan pembobot *K-Nearest Neighbor* adalah pembobot yang berdasarkan jarak antar lokasi. Pada provinsi Jawa Tengah ada wilayah yang hanya bersinggungan dengan satu kabupaten saja, yaitu Kota Magelang yang hanya bersinggungan dengan Kabupaten Magelang dan Kota Salatiga yang hanya bersinggungan dengan Kabupaten Semarang. Oleh karena itu, peneliti akan melakukan penelitian tentang indeks pembangunan manusia menggunakan di Provinsi Jawa Tengah menggunakan model regresi spasial dengan pembobot spasial *Queen Contiguity* dan *K-Nearest Neighbor*.

METODE PENELITIAN

A. Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah dalam publikasi Provinsi Jawa Tengah dalam Angka tahun 2022. Unit observasi ini adalah 29 kabupaten dan 6 kota di Provinsi Jawa Tengah (BPS Provinsi Jawa Tengah, 2023).

B. Variabel Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan dua variabel, yaitu variabel dependen dan variabel independen. Variabel dependen adalah Indeks Pembangunan Manusia (IPM) setiap Kabupaten/Kota (Y) dan variabel independen meliputi: Persentase Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (TPAK) setiap Kabupaten/Kota (X_1), Upah Minimum Kabupaten/Kota (UMK) setiap Kabupaten/Kota (X_2), Jumlah Penduduk Miskin setiap Kabupaten/Kota (X_3).

Variabel indeks pembangunan manusia (Y) diperoleh berdasarkan umur harapan hidup, harapan lama sekolah, rata-rata lama sekolah dan penegluran per kapita disesuaikan. Variabel tingkat partisipasi angkatan kerja (X_1) diperoleh berdasarkan perhitungan $\frac{\text{Angkatan Kerja}}{\text{Penduduk Usia Kerja}} \times 100$. Variabel upah minimum Kabupaten/Kota (X_2) diperoleh berdasarkan perhitungan upah minimum tahun berjalan ditambah nilai penyesuaian upah minimum yang akan ditetapkan. Variabel jumlah penduduk miskin (X_3) diperoleh berdasarkan perhitungan penduduk yang memiliki rata-rata pengeluaran per kapita per bulan dibawah Garis Kemiskinan. Serta garis bujur (*longitude*) dan garis lintang (*latitude*) setiap kabupaten Kabupaten/Kota merupakan titik koordinat lokasi Kabupaten/Kota di Provinsi Jawa Tengah. Variabel *longitude* dan *latitude* diperoleh dari data EPSG.io (2023).

C. Analisis Data

Model regresi linear berganda adalah model statistik yang digunakan untuk memeriksa hubungan lebih dari satu variabel independen dan satu variabel dependen. Variabel independen disimbolkan dengan huruf X , sedangkan variabel dependen disimbolkan dengan huruf Y . Persamaan model regresi linear berganda didefinisikan sebagai berikut (Kutner et al., 2004):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_{p-1} X_{i,p-1} + \varepsilon_i \quad (1)$$

dengan,

Y_i : nilai variabel dependen pada pengamatan ke- i

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{p-1}$: parameter model regresi linear berganda

$X_{i1}, \dots, X_{i,p-1}$: nilai variabel independen ke- $p - 1$ pada pengamatan ke- i

ε_i : galat pada pengamatan ke- i

Data spasial atau data yang memiliki efek lokasi (*spatial effect*) di analisis menggunakan regresi spasial. Efek lokasi (*spatial effect*) terdiri dari dua jenis yaitu dependensi spasial dan heterogenitas spasial (Yasin et al., 2020). LeSage menjelaskan bahwa model umum regresi spasial dapat dituliskan sebagai berikut (LeSage & Kelley Pace, 2009):

$$\begin{aligned} \mathbf{y} &= \rho \mathbf{W} \mathbf{y} + \mathbf{X} \boldsymbol{\beta} + \mathbf{u} \\ \mathbf{u} &= \lambda \mathbf{W} \mathbf{u} + \boldsymbol{\varepsilon}, \boldsymbol{\varepsilon} \sim N(0, \sigma_{\varepsilon}^2 \mathbf{I}_n) \end{aligned} \quad (2)$$

dengan,

- \mathbf{y} : vektor variabel respon berukuran $n \times 1$
- $\boldsymbol{\beta}$: vektor parameter regresi berukuran $p \times 1$
- ρ : parameter koefisien spasial lag variabel dependen
- \mathbf{X} : matriks variabel prediktor berukuran $n \times (p + 1)$
- \mathbf{W} : matriks pembobot dengan ukuran $n \times n$
- λ : parameter koefisien spasial pada error
- \mathbf{u} : vektor galat yang mempunyai efek spasial dengan ukuran $n \times 1$
- $\boldsymbol{\varepsilon}$: vektor galat dengan ukuran $n \times 1$
- n : jumlah amatan atau lokasi

Menurut Anselin (1988) dari persamaan umum model regresi spasial pada persamaan 2 dapat dibentuk model lain seperti berikut:

1. Jika $\rho \neq 0$ dan $\lambda = 0$ disebut *Spatial Autoregressive Model* (SAR) dengan persamaan:

$$\mathbf{y} = \rho \mathbf{W} \mathbf{y} + \mathbf{X} \boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (3)$$

2. Jika $\rho = 0$ dan $\lambda \neq 0$ disebut *Spatial Error Model* (SEM) dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \mathbf{y} &= \mathbf{X} \boldsymbol{\beta} + \mathbf{u} \\ \mathbf{u} &= \lambda \mathbf{W} \mathbf{u} + \boldsymbol{\varepsilon} \end{aligned} \quad (4)$$

3. Jika $\rho \neq 0$ dan $\lambda \neq 0$ disebut *Spatial Autoregressive Moving Average* (SARMA) dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \mathbf{y} &= \rho \mathbf{W} \mathbf{y} + \mathbf{X} \boldsymbol{\beta} + \mathbf{u} \\ \mathbf{u} &= \lambda \mathbf{W} \mathbf{u} + \boldsymbol{\varepsilon} \end{aligned} \quad (5)$$

Uji Kolmogorov-Smirnov digunakan untuk pengujian asumsi normalitas dengan rumus statistik uji sebagai berikut (Liu, 2018):

$$D = \sup_{x \in \mathbb{R}} \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathbf{1}_{(-\infty, x]}(\varepsilon_i) - F(x) \right| \quad (6)$$

dimana ε_i merupakan galat ke- i , $\mathbf{1}$ adalah indikator fungsi dari $-\infty$ sampai x , n adalah banyak pengamatan dan $F(x)$ merupakan fungsi empiris distribusi kumulatif. Hipotesis meliputi H_0 adalah galat berdistribusi normal dan H_1 adalah galat tidak berdistribusi normal. Kriteria keputusan yang diambil berdasarkan statistik uji adalah H_0 ditolak jika nilai $D > D_{(n, \alpha=0,05)}$ atau $p\text{-value} < \alpha = 0,05$.

Pengujian asumsi multikolinearitas menggunakan nilai *Variance Inflation Factor* (VIF), multikolinearitas terjadi jika nilai VIF > 10 . Rumus nilai VIF adalah sebagai berikut (Mendenhall & Sincich, 2012):

$$VIF_i = \frac{1}{1 - R_i^2}, i = 1, 2, \dots, p - 1 \quad (7)$$

dengan $p - 1$ merupakan banyaknya variabel independen pada penelitian dan R_i^2 adalah koefisien determinasi yang dituliskan sebagai berikut:

$$R_i^2 = 1 - \frac{JKG_i}{JKT_i}, 0 \leq R_i^2 \leq 1 \quad (8)$$

Pengujian heteroskedastisitas menggunakan uji Breusch-Pagan dengan rumus statistik uji sebagai berikut (Breusch & Pagan, 1979):

$$BP = \frac{1}{2} \mathbf{f}' \mathbf{X} (\mathbf{X}' \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}' \mathbf{f} \quad (9)$$

dengan,

$$e_i = y_i - \hat{y}_i$$

$$f_i = \left(\frac{e_i^2}{\hat{\sigma}^2} \right) - 1$$

e_i : residual untuk pengamatan ke- i

$\hat{\sigma}^2$: penduga variansi galat

\mathbf{X} : matriks berukuran $n \times (p + 1)$

sehingga,

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1p} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{np} \end{bmatrix}$$

Hipotesis yang digunakan adalah $H_0 : \alpha_2 = \cdots = \alpha_{p-1} = 0$ (variansi galat konstan), sedangkan H_1 : setidaknya minimal terdapat satu $\alpha_k \neq \alpha_{p-1}$ (variansi galat tidak konstan). Kriteria keputusan dalam penelitian ini adalah H_0 ditolak jika hasil statistik uji $BP \geq \chi_{0,05}^2(df=n-p)$ atau jika $p - value < \alpha = 0,05$.

Pada penelitian ini menggunakan dua jenis matriks pembobot spasial, yaitu *Queen Contiguity* dan *K-Nearest Neighbor*. Pembobot spasial *Queen Contiguity* digunakan untuk mengetahui efek spasial berdasarkan hubungan ketetanggaan antar lokasi, sedangkan pembobot spasial *K-Nearest Neighbor* digunakan untuk mengetahui efek spasial berdasarkan jarak antar lokasi. Penjelasan pembobot spasial *Queen Contiguity* dan *K-Nearest Neighbor* adalah sebagai berikut:

1. *Queen Contiguity*

Daerah pengamatan untuk *Queen Contiguity* ditentukan berdasarkan sisi-sisi yang bersinggungan dan sudut juga diperhitungkan. Matriks pembobot \mathbf{W} berukuran $n \times n$, dimana setiap elemen matriks menggambarkan ukuran kedekatan antara pengamatan i ke j . Pembobot spasial *Queen Contiguity* didefinisikan sebagai berikut (Jaya & Andriyana, 2020):

$$\mathbf{W} = \begin{cases} 1 & \text{jika } i \text{ dan } j \text{ saling bersinggungan} \\ 0 & \text{jika tidak saling bersinggungan} \end{cases} \quad (10)$$

2. *K-Nearest Neighbor*

Dalam matriks \mathbf{W} pembobot spasial *K-Nearest Neighbor*, setiap baris i memiliki K buah kolom j dengan elemen 1 dan kolom selainnya bernilai 0. Pada pembobot spasial *K-Nearest Neighbor* nilai K lokasi terdekat ditentukan oleh peneliti. Menurut Jaya & Andriyana (2020) rumus pembobot spasial *K-Nearest Neighbor* didefinisikan sebagai berikut:

$$\mathbf{W} = \begin{cases} 1, & \text{jika titik pusat lokasi } j \text{ merupakan } K \\ & \text{tetangga terdekat dari titik pusat } i \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (11)$$

Pengujian dependensi spasial atau autokorelasi spasial menggunakan statistik *Moran's I*. Menurut (Lee & Li, 2017) rumus *Moran's I* adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (Z_i - \bar{Z})(Z_j - \bar{Z})}{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}\right) \sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2} \quad (12)$$

dengan,

- i : 1, 2, ..., n
- j : 1, 2, ..., n ; $i \neq j$
- Z_i : nilai variabel pada lokasi i
- Z_j : nilai variabel pada lokasi j
- \bar{Z} : rata-rata dari nilai variabel
- W_{ij} : bobot yang digunakan untuk membandingkan lokasi i dan j
- n : ukuran sampel
- I : koefisien Global Moran's I

Nilai indeks Moran yang berkisar -1 hingga 1 menunjukkan terdapatnya autokorelasi yang besar antar residual di lokasi yang satu dengan lokasi yang lain. Autokorelasi tidak terjadi jika nilai indeks Moran sama dengan nol. Hipotesis yang digunakan adalah $H_0 : I = 0$ (Tidak ada autokorelasi spasial), sedangkan $H_1 : I \neq 0$ (Terdapat autokorelasi spasial).

Statistik uji:

$$Z = \frac{\hat{I} - E(I)}{\sqrt{Var(I)}} \quad (13)$$

dengan,

$$E(I) = \frac{1}{n-1} \quad (14)$$

$$Var(I) = \frac{n^2 \left(\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (W_{ij} + W_{ji})^2 \right) - n \left(\sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^n W_{ij} + \sum_{i=1}^n W_{ji} \right)^2 \right) + 3 \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \right)^2}{(n^2 - 1) \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \right)^2} \quad (15)$$

dengan,

- $Z(I)$: statistik uji Moran's I
- $E(I)$: nilai harapan dari Moran's I
- $Var(I)$: variansi dari Moran's I
- W_{ij} : bobot yang digunakan untuk membandingkan lokasi i dan j
- n : ukuran sampel

Kriteria keputusan adalah tolak H_0 jika nilai $|Z_{hitung}| > Z_{\alpha/2}$ atau p-value $< \alpha = 0,05$, sehingga dapat disimpulkan terdapat dependensi spasial atau autokorelasi spasial.

Lagrange Multiplier merupakan uji untuk menentukan apakah terdapat efek spasial pada model. Pada uji *Lagrange Multiplier* menurut Anselin (1988) ada tiga hipotesis, yaitu:

1. Hipotesis untuk *Spatial Autoregressive (SAR)*

$H_0 : \rho = 0$ (Tidak ada dependensi spasial lag)

$H_1 : \rho \neq 0$ (Terdapat dependensi spasial lag)

Statistik uji:

$$LM_{lag} = \left[\frac{e' W e}{\sigma^2} \right]^2 \frac{1}{D+T} \sim \chi^2_{(\alpha,1)} \quad (16)$$

dengan:

$$T = trace((W + W')W)$$

trace adalah penjumlahan elemen-elemen diagonal utama matriks

$$D = \frac{(W X \beta)' (1 - X(X'X)^{-1} X') (W X \beta)}{\sigma^2}$$

$$\sigma^2 = \frac{e'e}{n}$$

Kriteria keputusan adalah tolak H_0 jika $LM_{lag} > \chi^2_{(\alpha,1)}$ atau $p\text{-value} < \alpha = 0,05$, maka dapat disimpulkan terdapat dependensi spasial *lag*.

2. Hipotesis untuk *Spatial Error Model* (SEM)

$H_0 : \lambda = 0$ (Tidak ada dependensi spasial *error*)

$H_1 : \lambda \neq 0$ (Terdapat dependensi spasial *error*)

Statistik uji:

$$LM_{error} = \frac{1}{T} \left[\frac{e'we}{\sigma^2} \right]^2 \sim \chi^2_{(\alpha,1)} \quad (17)$$

Kriteria keputusan adalah tolak H_0 jika $LM_{error} > \chi^2_{(\alpha,1)}$ atau $p\text{-value} < \alpha = 0,05$, maka dapat disimpulkan terdapat dependensi spasial *error*.

3. Hipotesis untuk *Spatial Autoregressive Moving Average* (SARMA)

$H_0 : \rho, \lambda = 0$ (Tidak ada dependensi spasial *error*)

$H_1 : \rho, \lambda \neq 0$ (Terdapat dependensi spasial *error*)

Statistik uji (Anselin et al., 1996):

$$SARMA = \frac{\left[\frac{e'wy}{\sigma^2} \frac{e'we}{\sigma^2} \right]^2}{(D+T)-T} + \frac{\left[\frac{e'we}{\sigma^2} \right]^2}{T} \quad (18)$$

Kriteria keputusan apabila pengujian pada LM_{lag} dan LM_{error} sama-sama lebih besar dari $\chi^2_{(\alpha,1)}$ atau $p\text{-value} < \alpha = 0,05$, maka dapat disimpulkan bahwa data tersebut mengandung dependensi spasial *lag* dan *error*.

Pemilihan model terbaik menggunakan *Akaike Information Criterion* (AIC). Nilai AIC berbanding lurus dengan nilai devians dari model, jika nilai devians model semakin kecil maka nilai AIC akan semakin kecil juga. Rumus AIC dapat dituliskan sebagai berikut (Akaike, 1974):

$$AIC = -2\ln(L) + 2k \quad (19)$$

dengan,

k : jumlah parameter yang di estimasi dalam model regresi

L : nilai maksimum fungsi likelihood

Analisis data dilakukan menggunakan *software* RStudio versi 2023.09.1+494 (RStudio Team, 2023). *Package* *lmtest* (Hothorn et al., 2022) digunakan untuk analisis data dengan model regresi klasik dan memeriksa asumsi heteroskedastisitas, kemudian *package* *car* (Fox et al., 2023) digunakan untuk memeriksa asumsi multikolinearitas. *Package* *sf* (Pebesma, 2023) digunakan untuk memanggil koordinat dari lokasi. *Package* *sp* (Pebesma & Bivand, 2023) digunakan untuk menampilkan plot dari variabel dependen dan independen. *Package* *spdep* (Bivand, 2023) digunakan untuk menghitung pembobot spasial, autokorelasi spasial, dan uji *Lagrange Multiplier*. *Package* yang digunakan untuk analisis regresi spasial menggunakan *package* *spatialreg* (Bivand & Piras, 2023). Tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut;

1. Melakukan analisis deskriptif pada data.
2. Melakukan analisis regresi linear berganda.
3. Melakukan pengecekan asumsi.
4. Melakukan analisis pembobot spasial *Queen Contiguity* dan *K-Nearest Neighbor*.
5. Melakukan uji dependensi spasial atau autokorelasi spasial.
6. Melakukan uji *Lagrange Multiplier*.
7. Melakukan pemodelan regresi spasial dengan *Spatial Autoregressive Model* (SAR), *Spatial Error Model* (SEM), dan *Spatial Autoregressive Moving Average* (SARMA).

8. Memilih model terbaik menggunakan nilai *Akaike Information Criterion* (AIC).
9. Menarik kesimpulan.

HASIL PENELITIAN

A. Statistik Deskriptif

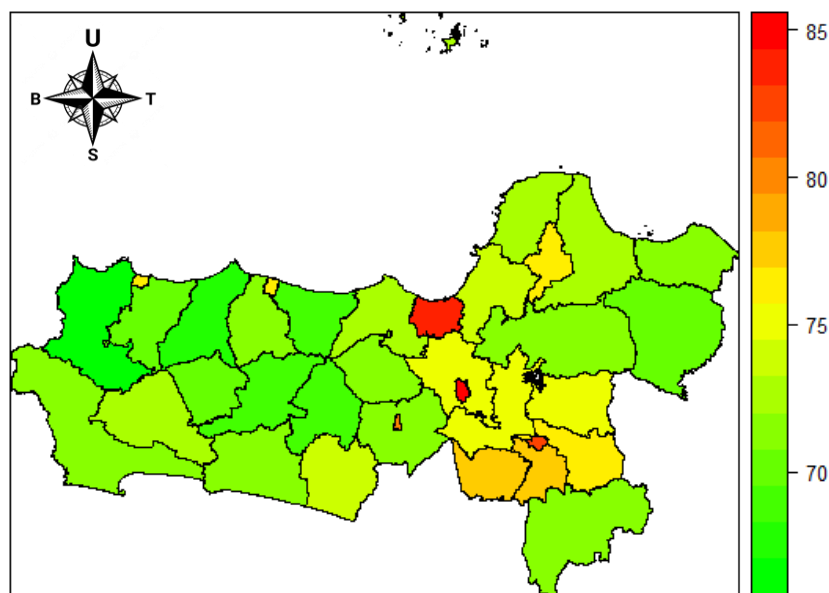
Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa variabel IPM memiliki rata-rata sebesar 73,50 dengan varians sebesar 19,86, variabel tingkat partisipasi angkatan kerja memiliki rata-rata sebesar 71,12 dengan varians sebesar 12,17, variabel upah minimum kabupaten/kota memiliki rata-rata sebesar 2052 dengan varians sebesar 43.708,33, dan variabel jumlah penduduk miskin memiliki rata-rata sebesar 109,83 dengan varians sebesar 3.823,58.

Tabel 2. Statistik Deskriptif IPM dan Faktor-Faktor yang Diduga Mempengaruhi

Variabel	Mean	Maksimum	Minimum	Varians
Y	73,50	84,35	67,03	19,86
X_1	71,12	79,57	64,75	12,17
X_2	2052	2835	1819	43.708,33
X_3	109,83	290,66	8,65	3.823,58

B. Peta Sebaran Indeks Pembangunan Manusia di Provinsi Jawa Tengah tahun 2022

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa ada tiga wilayah yang memiliki IPM sangat tinggi, yaitu Kota Salatiga, Kota Semarang, Kota Surakarta, dan Kota Magelang. Kemudian wilayah yang memiliki IPM tinggi adalah Kab. Banyumas, Kab. Boyolali, Kab. Cilacap, Kab. Demak, Kab. Grobogan, Kab. Jepara, Kab. Karanganyar, Kab. Kebumen, Kab. Kendal, Kab. Klaten, Kota Pekalongan, Kota Tegal, Kab. Kudus, Kab. Magelang, Kab. Pati, Kab. Pekalongan, Kab. Purworejo, Kab. Rembang, Kab. Semarang, Kab. Sragen, Kab. Sukoharjo, Kab. Temanggung, dan Kab. Wonogiri. Untuk wilayah yang memiliki IPM rendah adalah Kab. Banjarnegara, Kab. Batang, Kab. Blora, Kab. Brebes, Kab. Pemalang, Kab. Purbalingga, Kab. Tegal, dan Kab. Wonosobo.



Gambar 1. Peta Sebaran IPM di Jawa Tengah 2022

C. Analisis Regresi

Pada analisis regresi, estimasi parameter pada model regresi linear berganda dengan menggunakan dekomposisi QR. Hasil estimasi parameter ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Estimasi Parameter Regresi Linear Berganda

Variabel	Estimasi	Std. error	t-stat	p-value
<i>Intercept</i>	95,9531	12,6387	7,592	0,0000
X_1	-0,4262	0,1491	-2,858	0,0075
X_2	-0,0063	0,0025	2,534	0,0166
X_3	-0,0459	0,0086	-5,359	0,0000

Hasil estimasi pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa semua variabel X_1 , X_2 , dan X_3 memiliki *p-value* kurang dari $\alpha = 0,05$, sehingga dapat disimpulkan ketiga variabel independen tersebut memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel Y .

D. Pengujian Asumsi pada Data

Pengujian galat berdistribusi normal dilakukan menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai statistik uji Kolmogorov-Smirnov sebesar $0,1068 < D_{tabel} = 0,224$ dan $p - value = 0,7804 > \alpha = 0,05$, maka diputuskan menerima H_0 . Sehingga dapat disimpulkan bahwa galat berdistribusi normal.

Pengujian multikolinearitas pada variabel independen menggunakan nilai *Variance Inflation Factor* (VIF) dan ditampilkan pada Tabel 4. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa variabel independen memiliki nilai $VIF < 10$, sehingga dapat disimpulkan tidak terjadi multikolinearitas atau antar variabel independen tidak berhubungan.

Tabel 4. Nilai VIF Variabel Independen

Variabel	X_1	X_2	X_3
VIF	1,0639	1,0579	1,10195

Pengujian galat memiliki variansi konstan dilakukan menggunakan uji Breusch-Pagan. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai statistik uji Breusch-Pagan sebesar 7,0284 dan *p-value* sebesar 0,71 lebih besar dari $\alpha = 0,05$, maka diputuskan menerima H_0 . Sehingga dapat disimpulkan galat memiliki variansi konstan atau bersifat homogen.

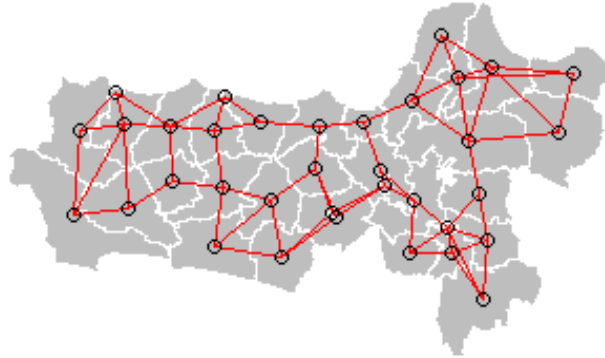
E. Matriks Pembobot Spasial

Penelitian ini menggunakan pembobot spasial *Queen Contiguity* dan *K-Nearest Neighbor* dengan matriks berukuran 35×35 . Peta matriks pembobot spasial *Queen Contiguity* ditampilkan pada Gambar 2 dan pembobot spasial *K-Nearest Neighbor* ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Pembobot Spasial *Queen Contiguity*

Pembobot *Queen Contiguity* digunakan karena terdapat pengaruh wilayah terhadap indeks pembangunan manusia di Provinsi Jawa Tengah yang saling bersinggungan antar sisi dan sudut. Pada pembobot *Queen Contiguity*, wilayah yang berbatasan langsung dengan wilayah yang lain akan dihubungkan menggunakan garis-garis merah. Seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 3. Pembobot Spasial *K-Nearest Neighbor*

Pembobot spasial *K-Nearest Neighbor* digunakan karena peneliti ingin mengetahui pengaruh wilayah terhadap indeks pembangunan manusia di Provinsi Jawa Tengah berdasarkan jarak antar wilayah. Pada penelitian ini menggunakan 3 jarak terdekat antar wilayah. Pada pembobot *K-Nearest Neighbor*, wilayah dengan 3 jarak terdekat dihubungkan oleh garis-garis merah menggunakan titik koordinat atau *latitude* dan *longitude*.

F. Pengujian Dependensi Spasial *Moran's I*

Berdasarkan pengujian *Moran's I* pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa variabel Y , X_1 , X_2 , dan X_3 memiliki dependensi spasial dan memiliki nilai *Moran's I* yang positif.

Tabel 5. Hasil Pengujian *Moran's I*

Variabel	Nilai Moran's I	P-value	Kesimpulan
Y	0,2147	0,0164	Tolak H_0
X_1	0,3070	0,0018	Tolak H_0
X_2	0,3994	0,0000	Tolak H_0
X_3	0,2235	0,0129	Tolak H_0

G. Pengujian *Lagrange Multiplier* (LM)

Pengujian *Lagrange Multiplier* dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat ketergantungan spasial pada model regresi. Hasil pengujian *Lagrange Multiplier* ditunjukkan pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Hasil Uji LM dengan Pembobot *Queen Contiguity*

Variabel	Statistik	P-value
LM error	5,7828	0,0162
LM lag	6,1512	0,0131
SARMA	6,7515	0,0342

Tabel 7. Hasil Uji LM dengan Pembobot *K-Nearest Neighbor*

Variabel	Statistik	P-value
LM error	10,7414	0,0011
LM lag	11,4109	0,0007
SARMA	12,5695	0,0019

Berdasarkan hasil pengujian LM pada Tabel 6 dan Tabel 7 diketahui nilai LM error, LM lag, dan SARMA memiliki nilai p-value yang signifikan. Sehingga dapat dilakukan analisis regresi spasial menggunakan pengujian estimasi model *Spatial Autoregressive* (SAR), *Spatial Error Model* (SEM), dan *Spatial Autoregressive Moving Average* (SARMA).

H. Model *Spatial Autoregressive* (SAR)

Hasil pengujian dari pemodelan SAR dengan pembobot *Queen Contiguity* dan *K-Nearest Neighbor* ditampilkan dalam Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 8. Hasil Estimasi SAR dengan Pembobot *Queen Contiguity*

Parameter	Estimasi	p-value
Intercept	96,0501	0,0000
X_1	-0,4275	0,0069
X_2	0,0063	0,0087
X_3	-0,0459	0,0000
Lambda	-	-
Rho	0,0001	0,9858
AIC	182,58	

Estimasi regresi spasial pada persentase indeks pembangunan manusia di Provinsi Jawa Tengah menggunakan model SAR dengan pembobot *Queen Contiguity* adalah sebagai berikut:

$$\hat{y}_i = 0,0001 \sum_{j=1, i \neq j}^n w_{ij} y_i - 0,4275 X_{1i} + 0,0063 X_{2i} - 0,0459 X_{3i} \quad (20)$$

Berdasarkan hasil pada Tabel 8 diketahui bahwa variabel persentase tingkat partisipasi angkatan kerja (X_1), jumlah upah minimum kabupaten/kota (X_2), dan jumlah penduduk miskin (X_3) berpengaruh signifikan terhadap persentase indeks pembangunan manusia dengan p-value kurang dari $\alpha = 0,05$.

Tabel 9. Hasil Estimasi SAR dengan Pembobot *K-Nearest Neighbor*

Parameter	Estimasi	p-value
Intercept	79,1814	0,0000
X_1	-0,5251	0,0000

X_2	0,0055	0,0091
X_3	-0,0438	0,0000
Lambda	-	-
Rho	0,1135	0,0057
AIC	174,94	

Estimasi regresi spasial pada persentase indeks pembangunan manusia di Provinsi Jawa Tengah menggunakan model SAR dengan pembobot *K-Nearest Neighbor* adalah sebagai berikut:

$$\hat{y}_i = 0,1135 \sum_{j=1, i \neq j}^n w_{ij} y_j - 0,5251 X_{1i} + 0,0055 X_{2i} - 0,0438 X_{3i} \quad (21)$$

Berdasarkan hasil pada Tabel 9 diketahui bahwa variabel persentase tingkat partisipasi angkatan kerja (X_1), jumlah upah minimum kabupaten/kota (X_2), dan jumlah penduduk miskin (X_3) berpengaruh signifikan terhadap persentase indeks pembangunan manusia dengan *p-value* kurang dari $\alpha = 0,05$.

I. Spatial Error Model (SEM)

Hasil pengujian dari pemodelan SEM dengan pembobot *Queen Contiguity* dan *K-Nearest Neighbor* ditampilkan dalam Tabel 10 dan Tabel 11.

Tabel 10. Hasil Estimasi SEM dengan Pembobot *Queen Contiguity*

Parameter	Estimasi	p-value
Intercept	97,0199	0,0000
X_1	-0,4603	0,0019
X_2	0,0068	0,0058
X_3	-0,0415	0,0000
Lambda	0,1081	0,0258
Rho	-	-
AIC	177,61	

Estimasi regresi spasial pada persentase indeks pembangunan manusia di Provinsi Jawa Tengah menggunakan model SEM dengan pembobot *Queen Contiguity* adalah sebagai berikut:

$$\hat{y}_i = -0,4603 X_{1i} + 0,0068 X_{2i} - 0,0415 X_{3i} + \hat{u} \quad (22)$$

$$\hat{u} = 0,1081 \sum_{j=1, i \neq j}^n w_{ij} u_j$$

Berdasarkan hasil pada Tabel 10 diketahui bahwa variabel persentase tingkat partisipasi angkatan kerja (X_1), jumlah upah minimum kabupaten/kota (X_2), dan jumlah penduduk miskin (X_3) berpengaruh signifikan terhadap persentase indeks pembangunan manusia dengan *p-value* kurang dari $\alpha = 0,05$.

Tabel 11. Hasil Estimasi SEM dengan Pembobot *K-Nearest Neighbor*

Parameter	Estimasi	p-value
Intercept	104,3757	0,0000
X_1	-0,5773	0,0000
X_2	0,0069	0,0043
X_3	-0,0369	0,0000
Lambda	0,1770	0,0017
Rho	-	-
AIC	172,74	

Estimasi regresi spasial pada persentase indeks pembangunan manusia di Provinsi Jawa Tengah menggunakan model SEM dengan pembobot *K-Nearest Neighbor* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \hat{y}_i &= -0,5773X_{1i} + 0,0069X_{2i} - 0,0369X_{3i} + \hat{u} \\ \hat{u} &= 0,1770 \sum_{j=1, i \neq 1}^n w_{ij}u_i \end{aligned} \quad (23)$$

Berdasarkan hasil pada Tabel 11 diketahui bahwa variabel persentase tingkat partisipasi angkatan kerja (X_1), jumlah upah minimum kabupaten/kota (X_2), dan jumlah penduduk miskin (X_3) berpengaruh signifikan terhadap persentase indeks pembangunan manusia dengan *p-value* kurang dari $\alpha = 0,05$.

J. Spatial Autoregressive Moving Average (SARMA)

Hasil pengujian dari pemodelan SARMA dengan pembobot *Queen Contiguity* dan *K-Nearest Neighbor* ditampilkan dalam Tabel 12 dan Tabel 13.

Tabel 12. Hasil Estimasi SARMA dengan Pembobot *Queen Contiguity*

Parameter	Estimasi	p-value
Intercept	94,2313	0,0000
X_1	-0,4279	0,0048
X_2	0,0073	0,0034
X_3	-0,0367	0,0000
Lambda	0,1216	0,0005
Rho	-0,0046	0,2842
AIC	178,56	

Estimasi regresi spasial pada persentase indeks pembangunan manusia di Provinsi Jawa Tengah menggunakan model SARMA dengan pembobot *Queen Contiguity* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \hat{y}_i &= -0,0046 \sum_{j=1, i \neq 1}^n w_{ij}y_i + 94,2313 - 0,4279X_{1i} + 0,0073X_{2i} - \\ &0,0367X_{3i} + 0,1216 \sum_{j=1, i \neq 1}^n w_{ij}u_i \end{aligned} \quad (24)$$

Berdasarkan hasil pada Tabel 12 diketahui bahwa variabel persentase tingkat partisipasi angkatan kerja (X_1), jumlah upah minimum kabupaten/kota (X_2), dan jumlah penduduk miskin (X_3) berpengaruh signifikan terhadap persentase indeks pembangunan manusia dengan *p-value* kurang dari $\alpha = 0,05$.

Tabel 13. Hasil Estimasi SARMA dengan Pembobot *K-Nearest Neighbor*

Parameter	Estimasi	p-value
Intercept	144,2388	0,0000
X_1	-0,5239	0,0000
X_2	0,0076	0,0003
X_3	-0,0235	0,0002
Lambda	0,2818	0,0000
Rho	-0,2138	0,0001
AIC	168,73	

Estimasi regresi spasial pada persentase indeks pembangunan manusia di Provinsi Jawa Tengah menggunakan model SARMA dengan pembobot *K-Nearest Neighbor* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \hat{y}_i &= -0,2138 \sum_{j=1, i \neq 1}^n w_{ij}y_i + 144,2388 - 0,5239X_{1i} + 0,0076X_{2i} - \\ &0,0235X_{3i} + 0,2818 \sum_{j=1, i \neq 1}^n w_{ij}u_i \end{aligned} \quad (25)$$

Berdasarkan hasil pada Tabel 13 diketahui bahwa variabel persentase tingkat partisipasi angkatan kerja (X_1), jumlah upah minimum kabupaten/kota (X_2), dan jumlah penduduk miskin (X_3) berpengaruh signifikan terhadap persentase indeks pembangunan manusia dengan p -value kurang dari $\alpha = 0,05$.

K. Pemilihan Model Terbaik

Nilai *Akaike Information Criterion* (AIC) digunakan untuk memilih model yang terbaik, yaitu dengan membandingkan nilai AIC terkecil dari model SAR, SEM dan SARMA. Berikut adalah hasil nilai AIC dari masing-masing model dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Nilai Akaike Information Criterion (AIC)

Model	Pembobot Spasial	
	<i>Queen Contiguity</i>	<i>K-Nearest Neighbor</i>
SAR	182,52	174,94
SEM	177,61	172,74
SARMA	178,56	168,73

Model terbaik diperoleh dari model dengan nilai AIC terkecil, dimana semakin kecil nilai AIC yang diperoleh maka model tersebut semakin baik. Seperti yang terlihat pada Tabel 14, nilai AIC model SARMA dengan pembobot spasial *K-Nearest Neighbor* lebih kecil dibanding model SAR dan SEM. Sehingga dapat disimpulkan bahwa model terbaik yang terbentuk adalah *Spatial Autoregressive Moving Average* (SARMA) dengan pembobot *K-Nearest Neighbor*.

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis regresi spasial pada penelitian ini model SARMA dengan pembobot spasial *K-Nearest Neighbor* menjadi model regresi spasial terbaik karena memiliki nilai *Akaike Information Criterion* (AIC) terkecil, yaitu sebesar 168,73. Berdasarkan Tabel 13 dengan menggunakan taraf signifikansi ($\alpha = 0,05$) diperoleh variabel yang berpengaruh signifikan terhadap indeks pembangunan manusia, yaitu variabel tingkat partisipasi angkatan kerja, upah minimum kabupaten/kota, dan jumlah penduduk miskin.

Penelitian ini menunjukkan bahwa variabel tingkat partisipasi angkatan kerja (TPAK) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap indeks pembangunan manusia di Provinsi Jawa Tengah. Hasil penelitian yang sama diperoleh Yanthi & Budiantara (2016) tentang pemodelan faktor-faktor yang mempengaruhi IPM menggunakan Regresi Nonparametrik *Spline* di Jawa Tengah. Hasil dari penelitian melaporkan bahwa variabel tingkat partisipasi angkatan kerja (TPAK) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap IPM di Provinsi Jawa Tengah.

Dari penelitian ini diketahui bahwa variabel upah minimum kabupaten/kota memiliki pengaruh yang signifikan terhadap indeks pembangunan manusia di Provinsi Jawa Tengah. Hasil penelitian yang sama diperoleh Alwi et al. (2019) mengenai pemodelan IPM menggunakan analisis regresi spasial di Provinsi Jawa Tengah. Hasil dari penelitian melaporkan bahwa variabel upah minimum kabupaten/kota memiliki pengaruh yang signifikan terhadap IPM di Provinsi Jawa Tengah.

Penelitian ini juga menunjukkan bahwa variabel jumlah penduduk miskin memiliki pengaruh yang signifikan terhadap indeks pembangunan manusia di Provinsi Jawa Tengah. Hasil penelitian yang sama diperoleh Syukron (2017) mengenai analisis faktor-faktor yang mempengaruhi indeks pembangunan manusia di Provinsi Jawa Tengah tahun 2011-2015. Hasil dari penelitian

melaporkan bahwa variabel jumlah penduduk miskin memiliki pengaruh yang signifikan terhadap IPM di Provinsi Jawa Tengah tahun 2011-2015.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan diperoleh kesimpulan bahwa pemodelan *Spatial Autoregressive Moving Average* (SARMA) dengan pembobot spasial *K-Nearest Neighbor* merupakan model terbaik karena memiliki nilai *Akaike Information Criterion* (AIC) terkecil sebesar 168,73. Variabel penelitian yang secara signifikan mempengaruhi Indeks Pembangunan Manusia di setiap kabupaten/kota di Provinsi Jawa Tengah Tahun 2022 berdasarkan model terbaik adalah tingkat partisipasi angkatan kerja (TPAK), upah minimum kabupaten/kota (UMK), dan jumlah penduduk miskin.

DAFTAR PUSTAKA

- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716–723. <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>
- Alwi, W., Jajang, & Nurhayati, N. (2019). Pemodelan indeks pembangunan manusia di provinsi Jawa Tengah tahun 2017 menggunakan analisis regresi spasial. *Jurnal Ilmiah Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 11, 45–58.
- Anselin, L. (1988). *Spatial econometrics: Methods and models* (Vol. 4). Kluwer Academic. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7799-1>
- Anselin, L., Bera, A. K., Florax, R., & Yoon, M. J. (1996). Simple diagnostic tests for spatial dependence. *Regional Science and Urban Economics*, 26, 77–104.
- Badan Pusat Statistik. (2022). *Indeks pembangunan manusia 2022*. Badan Pusat Statistik.
- Bivand, R. (2023). *Package spdep: Spatial dependence (weighting, schemes, statistic)*. <https://cran.r-project.org/web/packages/spdep/index.html>
- Bivand, R., & Piras, G. (2023). Package spatialreg: Spatial regression analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 70(349). <https://cran.r-project.org/web/packages/spatialreg/index.html>
- BPS Provinsi Jawa Tengah. (2023). *Provinsi Jawa Tengah dalam angka 2023*. Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah.
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1979). A simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation. *Econometrica*, 47(5), 1287–1294.
- EPSG.io. (2023). *EPSG.io: Coordinate systems worldwide*. <https://epsg.io/about>
- Fauzi, F. (2016). *Model regresi spasial terbaik indeks pembangunan manusia provinsi Jawa Tengah*. Universitas Negeri Semarang.
- Fox, J., Weisberg, S., & Price, B. (2023). *Package car: Companion to applied regression*. <https://cran.r-project.org/web/packages/car/index.html>

- Hothorn, T., Zeileis, A., Farebrother, Richard. W., & Cummins, C. (2022). *Package lmtree: Testing linear regression models*. <https://cran.r-project.org/web/packages/lmtree/index.html>
- Jaya, I. G. N. M., & Andriyana, Y. (2020). *Analisis data spasial (perspektif bayesian)*. Alqaprint Jatinangor.
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., & Li, W. (2004). *Applied linear statistical models* (5th ed). McGraw-Hill.
- Lee, J., & Li, S. (2017). Extending moran's index for measuring spatiotemporal clustering of geographic events. *Geographical Analysis*, 49(1), 1–22. <https://doi.org/10.1111/GEAN.12106>
- LeSage, J., & Kelley Pace, R. (2009). *Introduction to spatial econometrics*. Taylor & Francis Group.
- Liu, T. (2018). *A kolmogorov-smirnov type test for two inter-dependent random variables*. <http://arxiv.org/abs/1802.09899>
- Mendenhall, William., & Sincich, Terry. (2012). *A second course in statistics : Regression analysis* (7th ed.). Pearson Education .
- Novitasari, D., & Khikmah, L. (2019). Penerapan model regresi spasial pada indeks pembangunan manusia (IPM) di Jawa Tengah tahun 2017. *STATISTIKA Journal of Theoretical Statistics and Its Applications*, 19(2), 123–134. <https://doi.org/10.29313/JSTAT.V19I2.5068>
- Pebesma, E. (2023). *Package sf: simple features for R*. <https://cran.r-project.org/web/packages/sf/index.html>
- Pebesma, E., & Bivand, R. (2023). *Package sp: Classes and methods for spatial data*. <https://cran.r-project.org/web/packages/sp/index.html>
- RStudio Team. (2023). *RStudio: Integrated development for R*. Posit. <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>
- Syukron, F. (2017). *Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi indeks pembangunan manusia di provinsi Jawa Tengah tahun 2011-2015*. Universitas Islam Indonesia.
- UNDP. (1990). Human development report 1990: Concept and measurement of human development. In *UNDP (United Nations Development Programme)*.
- Yanthi, N. P. D., & Budiantara, I. N. (2016). Pemodelan faktor-faktor yang mempengaruhi indeks pembangunan manusia menggunakan regresi nonparametrik spline di Jawa Tengah. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 5(2).
- Yasin, H., Warsito, B., & Hakim, A. R. (2020). *Regresi spasial (aplikasi dengan R)*. WADE Group.