



Pemodelan Spasial Indeks Pembangunan Manusia di Pulau Sulawesi Menggunakan Spatial Error Model

INFO PENULIS

Baharuddin
Universitas Halu Oleo
baharuddin.mtmk@uho.ac.id

Syafaat Nugiansa
Universitas Halu Oleo
faatsyafaat46@gmail.com

Muhammad Ihwal
Universitas Halu Oleo
ihwalmuhammad04@uho.ac.id

Makkulau
Universitas Halu Oleo
kulau.statistika@gmail.com

Lilis Laome
Universitas Halu Oleo
lilis.la_ome@uho.ac.id

Andi Tenri Ampa
Universitas Halu Oleo
anditenri.ampa@uho.ac.id

INFO ARTIKEL

ISSN: 3026-3603
Vol. 4, No. 1 April 2026
<http://jurnal.ardenjaya.com/index.php/ajst>

© 2026 Arden Jaya Publisher All rights reserved

Saran Penulisan Referensi:

Baharuddin., Nugiansa, S., Ihwal, M., Makkulau., Laome, L., & Ampa, A. T. (2026) Pemodelan Spasial Indeks Pembangunan Manusia di Pulau Sulawesi Menggunakan Spatial Error Model. *Arus Jurnal Sains dan Teknologi*, 4 (1), 6-13.

Abstrak

Indeks Pembangunan Manusia (IPM) di Pulau Sulawesi tahun 2023 menunjukkan kesenjangan yang signifikan antarkabupaten/kota, yang ditandai dengan variasi nilai yang cukup tinggi. Ketimpangan ini mengindikasikan keterbatasan model klasik dalam menangani ketergantungan spasial antarwilayah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola spasial dan faktor-faktor yang memengaruhi IPM, dengan membandingkan kinerja model regresi OLS dan Spatial Error Model (SEM). Metode yang digunakan adalah pemodelan spasial dengan data sekunder BPS tahun 2023. Matriks pembobot spasial dikonstruksi menggunakan k-Nearest Neighbors (k=4), dan uji autokorelasi spasial dilakukan dengan indeks Moran. Hasil penelitian mengonfirmasi adanya autokorelasi spasial positif pada IPM. Model SEM terbukti lebih unggul daripada OLS dengan nilai AIC yang lebih rendah dan mampu menangkap ketergantungan spasial melalui parameter λ yang signifikan. Variabel kepadatan penduduk berpengaruh positif signifikan, sedangkan persentase penduduk miskin berpengaruh negatif signifikan terhadap IPM.

Kata Kunci: Autokorelasi spasial, indeks Moran, kepadatan penduduk, persentase penduduk miskin

Abstract

The Human Development Index (HDI) across regencies and cities in Sulawesi Island in 2023 showed significant disparities, characterized by considerable variation in values. This inequality indicates the limitations of classical models in addressing spatial dependence between regions. This study aims to analyze the spatial patterns and factors influencing HDI by comparing the performance of the Ordinary Least Squares (OLS) regression model and the Spatial Error Model (SEM). The method employed spatial modeling using secondary data from Statistics Indonesia (BPS) for the year 2023. A spatial weights matrix was constructed using k-Nearest Neighbors ($k=4$), and spatial autocorrelation testing was conducted using Moran's Index. The research results confirm the presence of positive spatial autocorrelation in HDI. The SEM proved superior to OLS with a lower Akaike Information Criterion (AIC) value and was capable of capturing spatial dependence through a significant lambda (λ) parameter. The population density variable had a significantly positive effect, while the percentage of poor population had a significantly negative effect on HDI.

Keywords: Moran's index, percentage of poor population, population density, spatial autocorrelation

A. Pendahuluan

Indeks Pembangunan Manusia (IPM) merupakan indikator komposit yang digunakan untuk mengukur capaian pembangunan suatu wilayah dari aspek kesehatan, pendidikan, dan standar hidup layak. Pengukuran ini menjadi tolok ukur penting dalam mengevaluasi kesenjangan pembangunan antarwilayah. Di tingkat global, disparitas IPM antarwilayah dalam suatu negara masih menjadi tantangan, terutama di negara berkembang seperti Indonesia, yang di mana faktor geografis dan demografis sering kali berkontribusi terhadap ketimpangan tersebut (UNDP, 2025). Pulau Sulawesi, dengan karakteristik geografis yang beragam mulai dari wilayah perkotaan padat hingga kepulauan terpencil, merupakan konteks yang relevan untuk mengkaji variasi spasial IPM (BPS, 2025).

Permasalahan fundamental yang dibahas dalam penelitian ini adalah adanya kesenjangan pembangunan manusia yang signifikan antarkabupaten/kota di Pulau Sulawesi, yang ditandai oleh variasi nilai IPM yang cukup lebar. Fakta objektif dari data tahun 2023 menunjukkan bahwa nilai IPM berkisar dari 66,94 (Kabupaten Buton Tengah) hingga 85,51 (Kota Kendari) (BPS, 2024). Kesenjangan ini tidak hanya mencerminkan perbedaan akses terhadap layanan dasar, tetapi juga mengindikasikan kegagalan model pembangunan konvensional dalam menangani ketimpangan antarwilayah. Isu disparitas regional seperti ini banyak dipermasalahkan dalam literatur bereputasi, seperti yang diungkapkan oleh Anselin (2013) yang menekankan bahwa pendekatan spasial diperlukan untuk memahami dinamika ketimpangan yang kompleks.

Solusi untuk menjawab permasalahan ketimpangan spasial ini adalah dengan menerapkan suatu pendekatan pemodelan yang mampu menangkap ketergantungan spasial antarwilayah. Solusi yang ditawarkan adalah dengan menerapkan regresi spasial (Baharuddin *et al.*, 2025a), yang secara eksplisit memasukkan unsur ketetanggaan geografis ke dalam model. Pendekatan ini dianggap lebih tepat daripada model regresi linier biasa (*Ordinary Least Squares* atau OLS) karena dapat mengakomodasi adanya autokorelasi spasial, yaitu situasi di mana nilai suatu wilayah dipengaruhi oleh nilai wilayah di sekitarnya. Metode seperti *Spatial Error Model* (SEM) telah terbukti efektif dalam menangani bias spasial pada data berbasis wilayah (LeSage & Pace, 2009).

Perkembangan mutakhir dalam pemodelan IPM ditandai dengan kemajuan signifikan melalui integrasi analisis spasial. Penelitian terbaru oleh Hasibuan *et al.* (2023) di Provinsi Jawa Tengah menggunakan *Geographically Weighted Regression* (GWR) untuk mengidentifikasi faktor penentu IPM yang bersifat lokal. Sementara itu, penelitian oleh Suwuh *et al.* (2024) di Provinsi Sulawesi Selatan mengonfirmasi keunggulan SEM dibandingkan dengan OLS dalam memodelkan indikator pembangunan manusia karena kemampuannya menangkap interdependensi spasial. Di Indonesia, penelitian oleh Sukmawati (2024) telah mengaplikasikan SEM untuk menganalisis ketimpangan IPM namun berfokus secara spesifik pada tingkat provinsi. Sebagai pengembangan, artikel ini akan menganalisis determinan IPM secara spasial pada tingkat kabupaten/kota.

Tujuan penulisan artikel ini adalah untuk menganalisis pola spasial dan faktor-faktor yang memengaruhi Indeks Pembangunan Manusia (IPM) di Pulau Sulawesi tahun 2023. Secara spesifik, penelitian ini bertujuan untuk: (1) Mengidentifikasi dan memetakan variasi spasial IPM antarkabupaten/kota; (2) Menguji adanya autokorelasi spasial dalam sebaran data IPM; (3) Membandingkan kinerja model regresi OLS dengan *Spatial Error Model* dalam memodelkan IPM;

serta (4) Menganalisis pengaruh signifikan variabel kepadatan penduduk dan persentase penduduk miskin terhadap IPM dalam kerangka spasial.

B. Metodologi

a. Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang bersumber dari Badan Pusat Statistik (BPS) untuk tahun 2023, dengan fokus pada tingkat kabupaten dan kota di Pulau Sulawesi. Data yang dihimpun mencakup variabel respon (Y), yaitu Indeks Pembangunan Manusia (IPM), serta dua variabel independen: kepadatan penduduk (X_1) yang dihitung dalam jiwa per kilometer persegi, dan persentase penduduk miskin (X_2). Data IPM diperoleh dari BPS (2024a) dan data persentase penduduk miskin diambil dari BPS (2024b). Dataset ini kemudian diolah dan dianalisis untuk mengidentifikasi pola dan hubungan spasial yang terjadi antarwilayah, dengan menggunakan koordinat geografis (lintang dan bujur) setiap kabupaten/kota yang tersedia untuk keperluan analisis spasial.

b. Definisi Operasional Variabel Penelitian

Definisi operasional variabel respon dan variabel independen dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Definisi operasional variabel respon dan variabel independen

Variabel	Definisi Operasional	Satuan
Y Indeks Pembangunan Manusia	Ukuran komposit yang mengukur tingkat pembangunan kualitas hidup manusia di suatu kabupaten/kota berdasarkan tiga dimensi dasar: umur panjang dan hidup sehat, pengetahuan, dan standar hidup layak.	Indeks
X_1 Kepadatan Penduduk	Ukuran persebaran penduduk yang menunjukkan jumlah penduduk di suatu kabupaten/kota pada tahun 2023 per kilometer persegi	Jiwa/km ²
X_2 Persentase Penduduk Miskin	Jumlah penduduk miskin di suatu kabupaten/kota pada tahun 2023 dibagi total penduduk pada wilayah tersebut dikali 100%. Penduduk miskin adalah mereka yang pengeluaran rata-rata per kapita per bulannya berada di bawah garis kemiskinan.	Persen

c. Prosedur Penelitian

Tahap awal penelitian melibatkan analisis deskriptif dan eksplorasi data untuk memahami karakteristik dasar dari setiap variabel. Analisis ini menghitung nilai minimum, maksimum, rata-rata, dan simpangan baku, yang mengungkap variasi yang signifikan dalam IPM. Selanjutnya, visualisasi data dilakukan melalui peta tematik untuk melihat distribusi geografis IPM dan diagram pencar untuk mengamati tren hubungan awal antara variabel independen dan variabel respon.

Langkah kunci dalam metodologi ini adalah konstruksi matriks pembobot spasial, yang secara kuantitatif mendefinisikan hubungan ketetanggaan antarwilayah (Baharuddin *et al.*, 2024). Penelitian ini mengadopsi metode *k-Nearest Neighbors* (k-NN), di mana nilai k optimal ditentukan melalui evaluasi indeks Moran I untuk berbagai nilai k (dari 1 hingga 10). Nilai k yang dipilih adalah yang menghasilkan nilai indeks Moran I tertinggi dan signifikan secara statistik.

Untuk membuktikan adanya pola spasial dalam data IPM, penelitian ini melakukan uji autokorelasi spasial menggunakan indeks Moran. Pengujian ini dilakukan dengan memanfaatkan matriks pembobot spasial yang telah dibangun (Baharuddin *et al.*, 2025a).

Setelah mengonfirmasi adanya ketergantungan spasial, penelitian ini membandingkan kinerja dua model regresi: model regresi linier biasa (*Ordinary Least Squares*, OLS) dan *Spatial Error Model* (SEM). Untuk menentukan model regresi spasial yang paling sesuai, dilakukan uji Lagrange Multiplier (LM).

Penaksiran parameter regresi untuk model SEM kemudian dilakukan menggunakan metode maksimum likelihood. Model SEM secara eksplisit memasukkan komponen ketergantungan spasial dalam error-nya, dengan melibatkan parameter lambda (λ) yang mengukur kekuatan autokorelasi spasial pada error model.

Tahap validasi model dilakukan dengan melakukan serangkaian pengujian asumsi klasik pada error model SEM. Uji kenormalan dengan uji Lilliefors, uji homoskedastisitas dengan uji Park (Baharuddin *et al.*, 2025b), dan uji autokorelasi spasial pada error dengan indeks Moran I.

Evaluasi akhir untuk memastikan keunggulan SEM atas OLS dilakukan dengan membandingkan nilai Akaike Information Criterion (AIC).

C. Hasil dan Pembahasan

Analisis deskriptif spasial terhadap sebaran Indeks Pembangunan Manusia (IPM) di Pulau Sulawesi tahun 2023 menunjukkan variasi yang cukup signifikan antarkabupaten/kota. Nilai IPM tertinggi tercatat di wilayah perkotaan seperti Kota Kendari (85,51) dan Kota Makassar (84,85), sementara nilai terendah berada di wilayah kepulauan dan terpencil seperti Kabupaten Buton Tengah (66,94) dan Kabupaten Muna Barat (67,44) (Tabel 2). Pola sebaran ini mengindikasikan adanya kesenjangan pembangunan manusia antara kawasan perkotaan dan non-perkotaan, serta antara wilayah daratan utama dengan kepulauan.

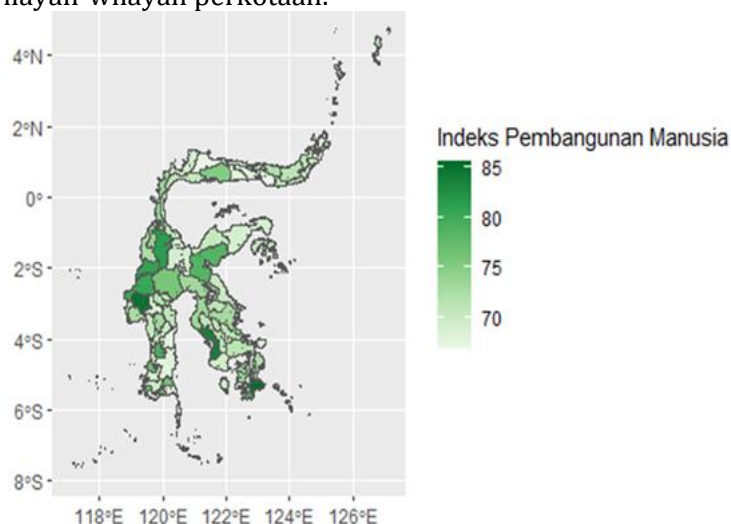
Statistik deskriptif pada Tabel 2 juga mengungkapkan variasi kepadatan penduduk yang sangat tinggi, dengan kisaran dari 14 jiwa/km² (Kabupaten Morowali Utara) hingga 8.227 jiwa/km² (Kota Makassar). Nilai rata-rata kepadatan penduduk adalah 399,27 jiwa/km², namun simpangan baku yang sangat besar (1.020,92)—lebih dari dua kali lipat nilai rata-ratanya—mengonfirmasi bahwa sebaran data kepadatan penduduk sangat tidak merata. Hal ini mencerminkan kondisi demografis di Pulau Sulawesi yang didominasi oleh kabupaten dengan kepadatan rendah, sementara beberapa wilayah kota memiliki konsentrasi penduduk yang sangat padat.

Tabel 2. Deskripsi variabel penelitian

Variabel	Minimum	Rata-rata	Maksimum	Simpangan Baku
Y	66,94	72,52	85,51	4,11
X_1	14,00	399,27	8.227,00	1.020,92
X_2	4,59	10,91	18,38	3,77

Persentase penduduk miskin di daerah penelitian berada dalam rentang 4,59% hingga 18,38%, dengan rata-rata sebesar 10,91% (Tabel 2). Simpangan baku sebesar 3,78% menandai variasi tingkat kemiskinan antardaerah yang cukup moderat. Meskipun demikian, selisih yang mendekati 14 persentase poin antara nilai minimum dan maksimum mengungkap adanya kesenjangan sosio-ekonomi yang nyata. Beberapa daerah telah berhasil menekan tingkat kemiskinan di bawah 5%, sementara daerah lainnya masih menghadapi tingkat kemiskinan yang melebihi 18%.

Visualisasi spasial melalui peta tematik (Gambar 1) memperlihatkan klusterisasi yang jelas dalam tingkat pembangunan manusia. Wilayah dengan IPM tinggi (seperti Kota Makassar, Kota Manado, dan Kota Kendari) terkonsentrasi di daerah perkotaan dan ibu kota provinsi, sementara wilayah dengan IPM relatif rendah cenderung tersebar di kabupaten-kabupaten yang berada di bagian tengah dan kepulauan. Pola sebaran ini menunjukkan adanya ketimpangan pembangunan antardaerah, di mana akses terhadap fasilitas pendidikan, kesehatan, dan ekonomi tampaknya lebih terpusat di wilayah-wilayah perkotaan.



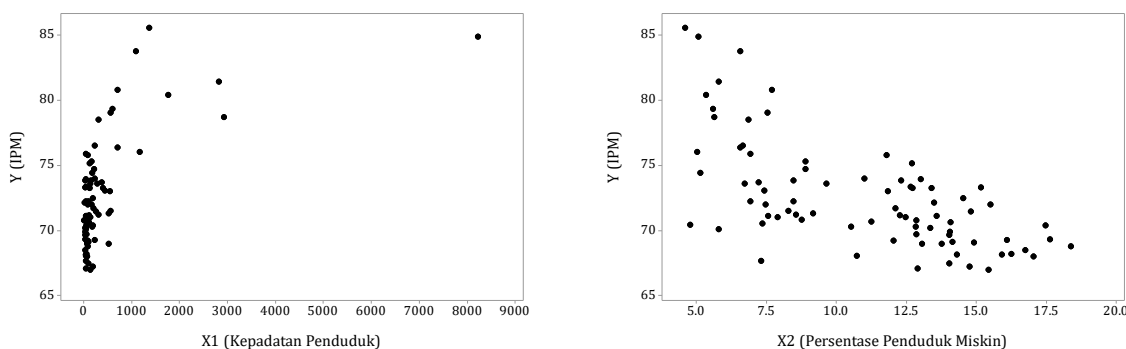
Gambar 1. Peta tematik IPM di Pulau Sulawesi tahun 2023

Untuk mengkuantifikasi pola spasial tersebut, sebuah matriks pembobot spasial dirancang menggunakan metode *k-nearest neighbors* (k-NN). Konstruksi matriks ini bertujuan untuk mendefinisikan hubungan ketetanggaan antarwilayah berdasarkan jarak geografis, di mana setiap wilayah dihubungkan dengan k wilayah terdekatnya. Pemilihan nilai k yang optimal merupakan langkah kritis, yang dalam penelitian ini ditentukan dengan mengevaluasi nilai indeks Moran untuk beberapa nilai k (dari 1 hingga 10). Nilai k yang menghasilkan indeks Moran tertinggi dan signifikan secara statistik kemudian dipilih sebagai konfigurasi terbaik, yang dalam hal ini adalah k = 4.

Pemilihan k = 4 sebagai konfigurasi optimal menunjukkan bahwa pengaruh ketetanggaan spasial terhadap IPM suatu kabupaten/kota di Pulau Sulawesi paling baik dijelaskan oleh interaksinya dengan empat wilayah terdekatnya. Nilai ini mengindikasikan bahwa proses spasial, seperti difusi inovasi dan akses layanan, bekerja dalam cakupan yang tidak terlalu sempit (hanya 1-2 tetangga) maupun terlalu luas. Dengan empat tetangga, struktur ketergantungan spasial menjadi paling kuat, sebagaimana tercermin dari nilai indeks Moran tertinggi (0.17). Hal ini mengimplikasikan bahwa dinamika pembangunan manusia di suatu wilayah secara signifikan dipengaruhi oleh kondisi di sekitarnya, di mana suatu wilayah membentuk klaster dengan sebuah "lingkungan" yang terdiri dari empat wilayah terdekat tersebut.

Hasil uji statistik Moran I dengan menggunakan matriks pembobot k = 4 menghasilkan indeks sebesar 0,17 yang signifikan pada nilai p = 0,00. Signifikansi statistik ini mengonfirmasi adanya autokorelasi spasial positif dalam sebaran IPM di Pulau Sulawesi. Secara substantif, temuan ini mengindikasikan pola pengelompokan (*clustering*) spasial yang nyata; wilayah dengan IPM tinggi cenderung berdekatan dengan wilayah ber-IPM tinggi, dan sebaliknya, wilayah dengan IPM rendah juga cenderung terkonsentrasi secara geografis. Implikasinya, penggunaan regresi spasial menjadi lebih tepat untuk menganalisis data ini dibandingkan model regresi *ordinary least squares* (OLS) yang mengasumsikan kebebasan antar-observasi.

Diagram pencar pada Gambar 2, yang menampilkan hubungan variabel X_1 (kepadatan penduduk) dan X_2 (persentase penduduk miskin) dengan Y (IPM), memperlihatkan pola hubungan yang berbeda antara kedua variabel independen terhadap IPM. Hubungan antara kepadatan penduduk (X_1) dengan IPM cenderung positif, di mana peningkatan kepadatan penduduk diiringi oleh peningkatan nilai IPM, meskipun sebarannya cukup menyebar. Sementara itu, hubungan antara persentase penduduk miskin (X_2) dengan IPM menunjukkan tren negatif, di mana semakin tinggi persentase penduduk miskin, semakin rendah capaian IPM. Pola ini mengindikasikan bahwa kedua variabel tersebut berpotensi memengaruhi IPM dengan arah pengaruh yang berlawanan.



Gambar 2. Diagram pencar dari hubungan variabel X_1 (kepadatan penduduk) dan X_2 (persentase penduduk miskin) dengan Y (IPM)

Hasil uji korelasi Pearson semakin memperkuat indikasi dari diagram pencar tersebut. Koefisien korelasi antara kepadatan penduduk dengan IPM sebesar 0,60 dengan nilai p sangat kecil (0,00) memperjelas adanya hubungan positif yang signifikan. Sementara itu, korelasi antara persentase penduduk miskin dengan IPM bernilai -0,65 (nilai p = 0,00) yang mengonfirmasi hubungan negatif yang signifikan. Dengan demikian, kedua variabel independen (X_1 dan X_2) memiliki keterkaitan yang kuat dan signifikan secara statistik dengan IPM di Pulau Sulawesi.

Pemodelan regresi OLS terhadap data IPM (Y) menghasilkan persamaan regresi sebagai berikut:

$$\hat{Y} = 77,7132 + 0,0017X_1 - 0,5371X_2 \tag{1}$$

dengan \hat{Y} adalah taksiran IPM, X_1 adalah kepadatan penduduk, dan X_2 adalah persentase penduduk miskin. Kedua variabel independen signifikan pada tingkat $\alpha = 0,05$ dengan nilai p = 0,00. Model ini memiliki R^2 sebesar 0,57, yang berarti sekitar 57% variasi IPM dapat dijelaskan

oleh kedua variabel independen tersebut. Meskipun secara statistik signifikan, masih terdapat sekitar 43% variasi IPM yang dijelaskan oleh faktor lain di luar model.

Pengujian autokorelasi spasial pada error model regresi OLS menggunakan indeks Moran menunjukkan nilai $I = 0,18$ dengan nilai $p = 0,00$. Hal ini mengindikasikan bahwa error model OLS tidak acak secara spasial, melainkan terdapat pola pengelompokan (klaster) nilai error yang signifikan. Dengan kata lain, terdapat ketergantungan spasial yang tidak tertangkap oleh model OLS, sehingga asumsi non-autokorelasi error tidak terpenuhi. Implikasinya, penerapan regresi spasial menjadi lebih tepat untuk menganalisis data IPM ini.

Hasil uji Lagrange Multiplier (LM) menunjukkan nilai LM-Error (6,16) lebih besar daripada LM-Lag (2,29) dan signifikan pada $\alpha = 0,05$ (nilai $p = 0,01$), sementara LM-Lag tidak signifikan (nilai $p = 0,13$). Hasil ini mengindikasikan bahwa model spasial yang lebih layak digunakan adalah *Spatial Error Model* (SEM), karena ketergantungan spasial pada error (residual) lebih kuat daripada variabel dependennya.

Model SEM menguraikan suku-suku error menjadi dua komponen, yaitu komponen error otoregresif dan komponen error acak. Komponen error otoregresif memuat otokorelasi spasial di dalamnya. Model SEM pada data IPM (\mathbf{Y}) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{u} \text{ dengan } \mathbf{u} = \lambda\mathbf{W}\mathbf{u} + \boldsymbol{\varepsilon} \text{ di mana } \boldsymbol{\varepsilon} \sim N(\mathbf{0}, \sigma_{\varepsilon}^2\mathbf{I}_n) \quad (2)$$

dengan \mathbf{X} adalah matriks variabel independen, $\boldsymbol{\beta}$ adalah vektor parameter regresi, \mathbf{u} adalah vektor error otoregresif, λ adalah parameter otokorelasi spasial error, \mathbf{W} adalah matriks pembobot spasial, dan $\boldsymbol{\varepsilon}$ adalah vektor error acak model SEM. Penaksiran parameter model SEM dilakukan menggunakan metode maksimum likelihood dan memberikan persamaan regresi:

$$\hat{Y}_i = 77,7565 + 0,0017X_{1i} - 0,5546X_{2i} + 0,3424 \sum_{j=1; i \neq j}^4 w_{ij}u_j \quad (3)$$

di mana u_j adalah nilai error di kabupaten/kota ke- j yang mana termasuk tetangga terdekat kabupaten/kota ke- i . Persamaan regresi (3) tersebut menjelaskan bahwa IPM di suatu daerah dipengaruhi oleh variabel X_1 , X_2 , dan suku-suku error daerah tetangga terdekatnya.

Pengujian parameter dalam model SEM dilakukan menggunakan uji statistik z dengan taraf signifikansi 5%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa baik variabel kepadatan penduduk (X_1) maupun persentase penduduk miskin (X_2) signifikan berpengaruh terhadap IPM, dengan nilai p masing-masing sebesar 0,00. Selain itu, intersep juga signifikan (nilai $p = 0,00$). Signifikansi ini mengonfirmasi bahwa semua variabel prediktor memiliki pengaruh yang nyata terhadap variabel respon dalam konteks spasial.

Tabel 3. Taksiran parameter model SEM dan signifikansinya

Prediktor	Taksiran Parameter	Z_{hitung}	Nilai p
Intersep	77,7565	70,02	0,00
X_1	0,0017	5,61	0,00
X_2	-0,5546	-6,23	0,00
λ	0,3424	2,59	0,02

Parameter lambda (λ) dalam model SEM mengukur tingkat ketergantungan spasial pada error. Nilai lambda sebesar 0,3424 signifikan berdasarkan uji Likelihood Ratio LR (nilai $p = 0,02$) dan uji Wald (nilai $p = 0,01$). Hal ini mengindikasikan bahwa model SEM lebih baik digunakan pada data IPM dibandingkan dengan model regresi OLS. Hasil pengujian terhadap parameter λ yang signifikan ini mengonfirmasi bahwa besarnya error di suatu kabupaten/kota akan bertambah sebesar 0,3424 kali rata-rata nilai error empat kabupaten/kota yang merupakan tetangganya apabila variabel yang lain diasumsikan konstan.

Uji kenormalan error menggunakan statistik Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) menghasilkan nilai $p = 0,07$, yang berarti error model SEM berdistribusi normal. Demikian juga, pengujian asumsi homoskedastisitas menggunakan uji Park menunjukkan bahwa variansi error model SEM adalah konstan. Sementara itu, pengujian autokorelasi spasial pada error model SEM memakai indeks Moran memberikan nilai $I = 0,01$ dengan nilai $p = 0,35$. Hal ini mengindikasikan bahwa error model SEM adalah saling bebas.

Berdasarkan perbandingan antara model OLS dan SEM, terlihat bahwa model SEM lebih unggul dengan nilai AIC yang lebih rendah (394,35) dibandingkan OLS (397,72). Selain itu, uji Likelihood Ratio (LR) signifikan (5,37; nilai $p = 0,02$), yang mengindikasikan bahwa model SEM lebih sesuai dalam menangani autokorelasi spasial. Dengan demikian, model SEM memberikan hasil yang lebih efisien dan akurat dalam memodelkan IPM di Pulau Sulawesi.

Variabel kepadatan penduduk (X_1) memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap IPM. Hal ini mengindikasikan bahwa wilayah dengan kepadatan penduduk yang tinggi cenderung

memiliki IPM yang lebih tinggi, mungkin karena akses yang lebih baik terhadap fasilitas pendidikan, kesehatan, dan ekonomi. Implikasi kebijakan yang dapat diambil antara lain penguatan infrastruktur dan pelayanan publik di wilayah padat penduduk, serta pemerataan pembangunan agar wilayah dengan kepadatan rendah juga dapat menikmati manfaat serupa. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa urbanisasi dan aglomerasi penduduk dapat mendorong peningkatan kualitas hidup (Zamzam *et al.*, 2024).

Persentase penduduk miskin (X_2) berpengaruh negatif dan signifikan terhadap IPM. Artinya, peningkatan kemiskinan akan menurunkan capaian IPM. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan akses masyarakat miskin terhadap pendidikan, kesehatan, dan standar hidup layak. Implikasi kebijakannya adalah perlunya program penanganan kemiskinan yang terintegrasi, seperti bantuan sosial, pemberdayaan ekonomi, dan peningkatan akses kesehatan dan pendidikan. Hasil ini konsisten dengan berbagai studi sebelumnya yang menyatakan bahwa kemiskinan merupakan faktor penghambat utama dalam peningkatan IPM (Gultom *et al.*, 2025).

D. Kesimpulan

Sebaran data Indeks Pembangunan Manusia (IPM) menurut kabupaten/kota di Pulau Sulawesi tahun 2023 menunjukkan variasi geografis yang signifikan, dengan pola ketimpangan yang jelas antara kawasan perkotaan dan kepulauan. Wilayah dengan IPM tinggi cenderung berdekatan dengan wilayah ber-IPM tinggi, demikian juga dengan wilayah dengan IPM rendah.

Pola sebaran data IPM ini terbukti tidak acak melalui uji indeks Moran, yang menunjukkan autokorelasi spasial positif yang signifikan. Hal ini mengonfirmasi bahwa nilai IPM suatu wilayah dipengaruhi oleh kemiripan dengan kondisi wilayah-wilayah sekitarnya.

Spatial Error Model (SEM) memberikan penaksir parameter yang lebih akurat dibandingkan model regresi OLS. Keunggulan model SEM ditunjukkan oleh nilai AIC yang lebih rendah serta terpenuhinya asumsi klasik.

Pemodelan SEM secara empiris menunjukkan bahwa faktor-faktor yang berpengaruh nyata terhadap IPM di suatu kabupaten/kota adalah kepadatan penduduk (X_1), persentase penduduk miskin (X_2), dan komponen error spasial (λ) dari wilayah sekitarnya.

E. Referensi

- Anselin, L. (2013). *Spatial Econometrics: Methods and Models*, Vol. 4. Dordrecht: Springer Science & Business Media.
- Baharuddin, Agusrawati, & Laome, L. (2025a). Pemodelan Regresi Spasial pada Tingkat Kemiskinan di Pulau Sulawesi. *ESTIMASI: Journal of Statistics and Its Application*, 6(1), 89-100.
- Baharuddin, Arianti, R. A., Ihwal, M., Makkulau, Laome, L., & Ampa, A. T. (2025b). Pemodelan Regresi Berganda pada Jumlah Penduduk Miskin di Indonesia. *Arus Jurnal Sains dan Teknologi*, 3(1), 148-156.
- Baharuddin, Yahya, I., & Ihwal, M. (2024). Otokorelasi Spasial pada Prevalensi Balita Stunting, Wasting, Underweight, dan Overweight di Pulau Sulawesi Tahun 2022. *Journal of Mathematics, Computation and Statistics*, 7(2), 472-482.
- BPS (2024a). [Metode Baru] Indeks Pembangunan Manusia, 2010-2024, diakses 16 Mei 2025 melalui [Metode Baru] Indeks Pembangunan Manusia - Tabel Statistik - Badan Pusat Statistik Indonesia
- BPS (2024b). Persentase Penduduk Miskin (P0) Menurut Kabupaten/Kota (Persen), 2004-2024, diakses 2 Mei 2025 melalui [Persentase Penduduk Miskin \(P0\) Menurut Kabupaten/Kota - Tabel Statistik - Badan Pusat Statistik Indonesia](#)
- BPS (2025). *Statistik Indonesia 2025*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Gultom, R. H., Nainggolan, N. P., Angkat, F., Sinurat, N. A., Dalimunthe, M. B., & Hidayat, N. (2025). Determinasi PDB, Pendidikan, dan Kemiskinan terhadap Pembangunan Manusia di Indonesia. *Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, 4(4), 1339-1348.
- Hasibuan, D. O., Teku, H. P., Putri, M. F. D., Setyawan, Y., & Bekt, R. D. (2023). Application of Geographically Weighted Regression Method on the Human Development Index of Central Java Province. *Enthusiastic International Journal of Applied Statistics and Data Science*, 3(2), 189-201.
- LeSage, J. P. & Pace, R. K. (2009). *Introduction to Spatial Econometrics*. Boca Raton: FL CRC Press.

- Sukmawati, A. (2022). Analisis Determinan Indeks Pembangunan Manusia di Indonesia Tahun 2019 dengan Spatial Error Model (SEM). *Seminar Nasional Official Statistics 2022*, 1305-1314.
- Suwuh, D., Salaki, D. T., & Weku, W. D. (2024). Spatial Regression Model for Human Development Index in South Sulawesi Province. *AIP Conference Proceedings*, 3132(1), diakses 2 Mei 2025 melalui <https://doi.org/10.1063/5.0211302>
- UNDP (2025). Human Development Report 2025: A Matter of Choice, People and Possibilities in the Age of AI. New York: United Nations Development Programme.
- Zamzam, A. M., Fadjarajani, S., & Darmawan, C. (2024). Analisis Pola Penyebaran Penduduk dan Kualitas Hidup di Kawasan Perkotaan Tasikmalaya. *DENALI*, 1(2), 42-50.