

**MODEL REGRESI SPASIAL DATA PANEL DALAM MENGANALISIS
FAKTOR-FAKTOR INDEKS PEMBANGUNAN MANUSIA (IPM)
PROVINSI LAMPUNG**

(Skripsi)

Oleh

**REYNA BELVA ADILLA
NPM 2217031085**



**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRACT

SPATIAL PANEL REGRESSION MODEL IN ANALYZING THE FACTORS AFFECTING THE HUMAN DEVELOPMENT INDEX (HDI) IN LAMPUNG PROVINCE

By

REYNA BELVA ADILLA

Spatial panel regression is an analytical method that combines the characteristics of cross-section and time series data while accounting for spatial effects or interregional dependencies. One of the commonly used spatial panel regression models is the spatial autoregressive model, which can be estimated using the common effect, fixed effect, or random effect approach, depending on the assumptions regarding region specific effects. This study aims to determine the best model and to identify the factors influencing the human development index in Lampung Province during the period 2020–2024 using spatial panel regression. Based on the analysis and model selection results, the best model obtained is the spatial autoregressive random effect model. The resulting model equation is given as follows $\hat{Y}_{it} = 18,74464 + 0,73625 \sum_{i=1}^{15} \sum_{j=1}^{15} W_{ij} y_{jt} + 0,20285 X_{1it} + 0,10524 X_{2it} + 3,25188 X_{3it} + 0,24138 X_{4it} + 0,73860 X_{5it}$. Based on the results of the partial test (t-test), the variables mean years of schooling and the number of poor population have a statistically significant effect on the human development index in Lampung Province.

Key words : Spatial Panel Regression, Spatial Autoregressive Random Effect Model, Human Development Index.

ABSTRAK

MODEL REGRESI SPASIAL DATA PANEL DALAM MENANALISIS FAKTOR–FAKTOR INDEKS PEMBANGUNAN MANUSIA (IPM) PROVINSI LAMPUNG

Oleh

REYNA BELVA ADILLA

Regresi spasial data panel merupakan metode analisis yang menggabungkan karakteristik data *cross-section* dan *time series* dengan mempertimbangkan adanya pengaruh spasial atau keterkaitan antarwilayah. Salah satu model regresi spasial data panel yang umum digunakan adalah *spatial autoregressive model*, yang dapat diestimasi melalui pendekatan *common effect*, *fixed effect*, maupun *random effect*, sesuai dengan asumsi efek spesifik setiap wilayah. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan model terbaik serta mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi Indeks Pembangunan Manusia di Provinsi Lampung tahun 2020–2024 menggunakan regresi spasial data panel. Berdasarkan hasil analisis dan pemilihan model, diperoleh bahwa model yang terbaik adalah model *spatial autoregressive random effect*. Persamaan model yang diperoleh adalah $\hat{Y}_{it} = 18,74464 + 0,73625 \sum_{i=1}^{15} \sum_{j=1}^{15} W_{ij}Y_{jt} + 0,20285 X_{1it} + 0,10524 X_{2it} + 3,25188 X_{3it} + 0,24138 X_{4it} + 0,73860 X_{5it}$. Berdasarkan hasil uji parsial (uji t) menunjukkan bahwa variabel rata-rata lama sekolah dan jumlah penduduk miskin berpengaruh signifikan terhadap Indeks Pembangunan Manusia di Provinsi Lampung.

Kata kunci : Regresi Spasial Data Panel, *Spatial Autoregressive Random Effect* Model, Indeks Pembangunan Manusia.

**MODEL REGRESI SPASIAL DATA PANEL DALAM MENGANALISIS
FAKTOR–FAKTOR INDEKS PEMBANGUNAN MANUSIA (IPM)
PROVINSI LAMPUNG**

Oleh

REYNA BELVA ADILLA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA MATEMATIKA**

Pada

**Jurusan Matematika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

Judul Skripsi

: **MODEL REGRESI SPASIAL DATA PANEL
DALAM MENGANALISIS FAKTOR-FAKTOR
INDEKS PEMBANGUNAN MANUSIA (IPM)
PROVINSI LAMPUNG**

Nama Mahasiswa

: **Reyna Belva Adilla**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **2217031085**

Program Studi

: **Matematika**

Fakultas

: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



1. **Komisi Pembimbing**


Drs. Nusyirwan, M.Si.

NIP. 196610101992031028


Siti Laelatul Chasanah, S.Pd., M.Si.

NIP. 199306012019032021

Ketua Jurusan Matematika


Dr. Aang Nuryaman, M.Si.

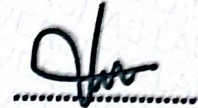
NIP. 197403162005011001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Drs Nusyirwan, M.Si.



Sekretaris

: Siti Laelatul Chasanah, S.Pd.,
M.Si.



Penguji

Bukan Pembimbing

: Dr. Khoirin Nisa, M.Si.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP.197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 30 Januari 2026

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Reyna Belva Adilla
Nomor Pokok Mahasiswa : 2217031985
Jurusan : Matematika
Judul Skripsi : **Model Regresi Spasial Data Panel dalam
Menganalisis Faktor-faktor Indeks
Pembangunan Manusia (IPM) Provinsi
Lampung**

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan semua yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah karya penulisan ilmiah Universitas Lampung.

Bandar Lampung, 30 Januari 2026

Penulis,



Reyna Belva Adilla
NPM. 2217031085

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Reyna Belva Adilla, lahir di Kota Jakarta Timur pada tanggal 25 Juni 2004. Penulis merupakan anak satu-satunya yang lahir dari pasangan Bapak Rustandi dan Ibu Rita Mutia.

Penulis memulai pendidikan di TKIT Birrul Waalidain Kota Bogor pada tahun 2010-2011. Kemudian, penulis melanjutkan sekolah dasar di SDIT Al-Madinah Kota Bogor pada tahun 2011-2016, sekolah menengah pertama di SMP Citra Nusa pada tahun 2016-2019, dan sekolah menengah atas di SMA Negeri 35 Jakarta pada tahun 2019-2022. Pada tahun 2022 penulis diterima sebagai mahasiswa S1 di Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri).

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah mengikuti organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa Universitas Keluarga Besar Mahasiswa (BEM U KBM) Universitas Lampung selama 1 periode pada kepengurusan tahun 2023. Pada bulan Desember 2024, penulis melakukan kerja praktik di BPS Kota Depok. Sebagai bentuk pengabdian mahasiswa kepada masyarakat dan menjalankan Tri Dharma Perguruan Tinggi, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode kedua di Kelurahan Gunung Agung, Kecamatan Langkapura, Kota Bandar Lampung pada bulan Juni-Agustus 2025.

KATA INSPIRASI

“ Ridha Allah terletak pada ridha orang tua dan murka Allah terletak pada murka orang tua “ (HR. Tirmidzi)

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۝

إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۝

"Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan." (Q.S. Al-Insyirah [94] :5-6).

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan Bismillahirrahmanirrahim, ku persembahkan karya sederhana ini kepada :

Orang Tuaku Tersayang

Terima kasih Mami dan Papi tercinta atas segala kasih sayang, doa restu, pengorbanan, perjuangan dan segala hal yang tak dapat diucapkan.

Dosen Pembimbing dan Penguji

Terima kasih kepada dosen pembimbing dan penguji yang sudah memberikan bimbingan, motivasi, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis.

Almamater Tercinta

Universitas Lampung

SANWACANA

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Model Regresi Spasial Data Panel dalam Menganalisis Faktor–Faktor Indeks Pembangunan Manusia (IPM) Provinsi Lampung”. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW sebagai suri teladan bagi umat manusia.

Penyusunan skripsi ini banyak pihak yang telah membantu, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Drs. Nusyirwan, M.Si. selaku pembimbing satu yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, motivasi, dan saran selama proses penyelesaian skripsi.
2. Ibu Siti Laelatul Chasanah, S.Pd., M.Si. selaku pembimbing dua yang telah memberikan bimbingan, motivasi, dan saran selama proses penyelesaian skripsi.
3. Ibu Dr. Khoirin Nisa, M.Si. selaku pembahas yang telah memberikan saran, kritik, serta evaluasi yang membangun guna penyempurnaan skripsi.
4. Bapak Dr. Muslim Ansori, M.Si. selaku dosen pembimbing akademik.
5. Bapak Dr. Aang Nuryaman, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Eng Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Seluruh dosen, *staff*, dan karyawan Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

8. Mami dan Papi tercinta atas segala kasih sayang, doa, dan pengorbanan yang tidak pernah terputus, serta dukungan yang senantiasa mengiringi penulis.
9. Oma, Aa, dan Eyang (almh) yang selalu memberikan doa dan semangat kepada penulis.
10. Keluarga besar atas dukungan moral dan doa yang telah diberikan.
11. Sahabat sejawatiku Alifia, Syafira, Neha, dan Diemas atas kebersamaan dan dukungan yang diberikan kepada penulis.
12. Sahabat seperjuangan Novi, Niken, Riahana, Azreen, dan Diah atas kebersamaan dan dukungan yang diberikan kepada penulis selama kuliah.
13. Teman seperbimbingan, terutama Intan Arimbi Putri, atas kebersamaan, dukungan, serta perjuangan yang dilalui bersama selama proses penyusunan skripsi.
14. Seluruh pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis dalam penyusunan skripsi, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna dan terdapat banyak kekurangan, baik dalam segi penyajian maupun teknik penulisan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan saran, masukan, dan kritik yang membangun dari pembaca untuk dapat menyempurnakan laporan ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan informasi yang bermanfaat.

Bandar Lampung, 30 Januari 2026
Penulis,

Reyna Belva Adilla

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang dan Masalah	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Analisis Regresi	5
2.2 Regresi Data Panel	6
2.3 Estimasi Model Regresi Data Panel	7
2.3.1 <i>Common Effect Model</i> (CEM)	7
2.3.2 <i>Fixed Effect Model</i> (FEM)	8
2.3.3 <i>Random Effect Model</i> (REM)	10
2.4 Pemilihan Model Regresi Data Panel	11
2.4.1 Uji Chow	12
2.4.2 Uji Hausman	13
2.4.3 Uji <i>Lagrange Multiplier</i>	13
2.5 Regresi Spasial Data Panel	14
2.6 Matriks Pembobot Spasial	15
2.7 Autokorelasi Spasial	17
2.8 Estimasi Model Regresi Spasial Data Panel	18
2.8.1 <i>Spatial Autoregressive Model</i> (SAR)	19
2.8.2 <i>Spatial Error Model</i> (SEM)	20
2.8.3 <i>Spatial Autoregressive Random Effect Model</i> (SAR-RE)	22
2.9 Pemilihan Model Regresi Spasial Data Panel	23

2.10 Uji Signifikansi Parameter Model	25
2.11 Uji Kebaikan Model	25
2.12 Pengujian Asumsi Regresi	26
2.13 Indeks Pembangunan Manusia (IPM)	29
III. METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.2 Data Penelitian	31
3.3 Metode Penelitian	32
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Statistika Deskriptif	34
4.2 Hasil Estimasi Model Regresi Data Panel	38
4.2.1 Hasil <i>Common Effect Model</i> (CEM)	38
4.2.2 Hasil <i>Fixed Effect Model</i> (FEM)	39
4.2.3 Hasil <i>Random Effect Model</i> (REM)	40
4.3 Hasil Pemilihan Model Regresi Data Panel	41
4.3.1 Hasil Uji Chow	41
4.3.2 Hasil Uji Hausman	42
4.3.3 Hasil Uji <i>Lagrange Multiplier</i>	43
4.4 Hasil Pengujian Asumsi Regresi	43
4.5 Hasil Matriks Pembobot Spasial	45
4.6 Hasil Autokorelasi Spasial	48
4.7 Hasil Estimasi Model Regresi Spasial Data Panel	48
4.6.1 Hasil Estimasi <i>Spatial Autoregressive Model</i> (SAR)	49
4.6.2 Hasil Estimasi <i>Spatial Error Model</i> (SEM)	50
4.8 Hasil Pemilihan Model Regresi Spasial Data Panel	51
4.9 Hasil Estimasi Model <i>Random Effect Spatial Autoregressive</i> (SAR-RE)	52
4.10 Hasil Uji Signifikansi Parameter Model	54
4.11 Hasil Uji Kebaikan Model	55
V. KESIMPULAN	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	61

DAFTAR TABEL

Gambar	Halaman
1. Pengelompokan IPM	30
2. Hasil statistika deskriptif	34
3. Hasil estimasi parameter CEM	38
4. Hasil estimasi parameter FEM	39
5. Hasil estimasi parameter REM	40
6. Hasil VIF variabel independen	44
7. Hubungan ketetanggaan antar kabupaten/kota	46
8. Hasil uji Moran's I	48
9. Hasil estimasi parameter model SAR	49
10. Hasil estimasi parameter model SEM	50
11. Hasil estimasi parameter model SAR-RE	52
12. Hasil uji signifikansi parameter model	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Matriks pembobot spasial <i>Rook Contiguity</i>	16
2. Matriks pembobot spasial <i>Bishop Contiguity</i>	16
3. Matriks pembobot spasial <i>Queen Contiguity</i>	17
4. Tahapan diagram alir analisis regresi spasial data panel	33
5. Boxplot IPM kabupaten/kota di Provinsi Lampung tahun 2024	36
6. Peta persebaran IPM di Provinsi Lampung tahun 2024	37

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Analisis regresi merupakan salah satu metode statistik yang digunakan untuk menganalisis hubungan antara satu variabel dependen dengan satu atau beberapa variabel independen (Wooldridge, 2020). Salah satu pengembangan dari analisis regresi adalah regresi data panel. Regresi data panel merupakan gabungan antara data *cross-section* dan data *time series*. Dengan demikian, dalam data panel, unit *cross-section* yang sama diamati secara berulang pada periode waktu yang berbeda (Irwansyah, dkk., 2021). Menurut Indrasetianingsih & Wasik (2020), keuntungan dari analisis regresi data panel adalah memperhitungkan variasi yang terjadi dalam unit *cross-section* dan memberikan informasi yang lebih lengkap daripada *time series* sederhana secara keseluruhan.

Regresi data panel mampu menggambarkan variasi antarwilayah dan perubahan antarwaktu secara bersamaan (Baltagi, 2008). Namun, metode ini masih memiliki keterbatasan karena belum memperhitungkan hubungan antarwilayah. Dalam beberapa situasi, hubungan antarwilayah tidak hanya dipengaruhi oleh faktor di wilayah itu sendiri, tetapi juga oleh kondisi wilayah di sekitarnya (Elhorst, 2021). Jenis analisis regresi yang dirancang untuk memodelkan data yang memiliki keterkaitan antarwilayah adalah regresi spasial. Dengan demikian, pendekatan spasial menjadi penting untuk menangkap adanya ketergantungan lokasi yang sering muncul pada fenomena geografis. Selain itu, memasukkan struktur spasial dalam model dapat meningkatkan akurasi estimasi serta memberikan pemahaman yang lebih baik terhadap pola keterkaitan antarwilayah.

Dalam regresi data panel, data yang digunakan memperhitungkan dimensi waktu dari beberapa unit *cross-section*. Apabila nilai amatan pada suatu *cross-section* juga berkaitan dengan nilai amatan pada unit lain (adanya ketergantungan antarwilayah), maka analisis yang tepat adalah regresi spasial data panel (Elhorst, 2021). Analisis regresi spasial data panel memberikan hasil yang lebih informatif karena mampu mengidentifikasi sekaligus mengukur efek yang tidak dapat terdeteksi dalam data *cross-section* atau *time series* murni (Baltagi, 2008). Selain itu, regresi spasial data panel juga memberikan informasi yang lebih spesifik bagi masing-masing unit *cross-section* berdasarkan perubahan yang terjadi pada beberapa periode waktu (Anselin, 1999).

Dalam analisis regresi spasial data panel terdapat beberapa jenis model yang umumnya terdiri atas dua bentuk utama, yaitu *Spatial Autoregressive Model* (SAR) dan *Spatial Error Model* (SEM) (Elhorst, 2021). Masing-masing model dapat diestimasi dengan pendekatan *common effect*, *fixed effect*, atau *random effect* tergantung pada asumsi efek spesifik tiap wilayah (Baltagi, 2008). Model dan pendekatan tersebut dapat digunakan untuk menganalisis Indeks Pembangunan Manusia (IPM).

Keberhasilan suatu negara dapat diukur melalui kualitas masyarakatnya. Oleh karena itu, sebuah negara dituntut untuk memiliki masyarakat yang maju dan berkembang, salah satu cara mewujudkannya adalah dengan pembangunan manusia (Trianggara, dkk., 2016). Menurut Badan Pusat Statistik (2019), pembangunan manusia sebagai ukuran kinerja pembangunan secara keseluruhan ditentukan melalui tiga dimensi dasar, yaitu kesehatan, pendidikan, dan standar hidup layak. Indikator-indikator yang mewakili ketiga dimensi tersebut kemudian digabungkan dalam satu nilai tunggal yang dikenal sebagai angka IPM.

Berdasarkan data terbaru, IPM Lampung periode 2020–2024, menunjukkan tren peningkatan yang konsisten, dari 69,69; 71,25; 71,79; 72,48; dan 73,13 (Badan Pusat Statistik, 2025). Kenaikan IPM ini juga terjadi di tingkat kabupaten/kota di Provinsi Lampung dengan setiap wilayah menunjukkan angka yang berbeda-beda.

Beberapa kabupaten/kota mencatatkan IPM di atas rata-rata provinsi, sementara beberapa lainnya masih berada di bawah rata-rata. Dengan melihat adanya variasi IPM antar kabupaten/kota di Provinsi Lampung, penting untuk melakukan analisis terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi IPM di masing-masing wilayah. Hasil analisis tersebut diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam upaya meningkatkan kualitas pembangunan manusia di Provinsi Lampung secara menyeluruh.

Pada penelitian sebelumnya, Tamara (2016) menggunakan model *Spatial Lag Fixed Effect* dan *Spatial Error Fixed Effect* untuk menganalisis tingkat kemiskinan di 35 kabupaten/kota di Jawa Tengah pada periode 2010-2013. Selanjutnya, penelitian oleh Ramadhanti (2019) menggunakan model regresi panel spasial untuk menganalisis Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH) di Indonesia pada periode 2013-2016. Pada tahun 2020, Nimanuho menggunakan model *Spatial Durbin Model* (SDM) untuk menganalisis faktor-faktor IPM di Provinsi Jawa Tengah periode 2011-2018. Pada tahun 2021, Yulianti, dkk., menggunakan model spasial data panel untuk menganalisis IPM di Jawa Tengah.

Murdani, dkk., (2022) menggunakan model SAR untuk menganalisis IPM di kabupaten/kota di Kalimantan Timur pada periode 2017-2020. Selain itu, penelitian oleh Adiwata & Annisa (2023) menerapkan model SAR-FE untuk menganalisis pengaruh industri mikro dan kecil terhadap pertumbuhan ekonomi di Indonesia. Mustafa (2025) menggunakan model SAR untuk menganalisis tingkat pengangguran terbuka di Nusa Tenggara Timur pada periode 2020-2023.

Berdasarkan penelitian terdahulu, studi yang secara spesifik menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi IPM di Provinsi Lampung dengan menggunakan pendekatan regresi spasial data panel masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam literatur serta menjadi acuan bagi perumusan kebijakan pembangunan manusia yang lebih tepat sasaran di Provinsi Lampung.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis model regresi spasial data panel yang paling sesuai untuk menggambarkan IPM kabupaten/kota di Provinsi Lampung periode 2020-2024.
2. Mengidentifikasi faktor-faktor utama yang memengaruhi variasi IPM di kabupaten/kota di Provinsi Lampung periode 2020-2024.

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan kontribusi akademis berupa pengembangan literatur mengenai penerapan regresi spasial data panel dalam menganalisis IPM kabupaten/kota di Provinsi Lampung.
2. Sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan terhadap upaya mengembangkan pembangunan manusia kabupaten/kota di Provinsi Lampung.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Regresi

Analisis regresi merupakan metode statistik yang digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya hubungan ketergantungan antara suatu variabel dengan variabel lainnya, yaitu antara variabel independen dan variabel dependen (Side, dkk., 2019). Menurut Prasetyo & Helma (2022), analisis regresi juga dapat diartikan sebagai suatu analisis statistika yang menjelaskan hubungan antara dua variabel yaitu, variabel dependen (Y) dan variabel independen (X).

Secara umum, analisis regresi linear terdiri dari dua, yaitu analisis regresi linear sederhana dan analisis regresi linear berganda. Menurut Tiro (2010), analisis regresi linear sederhana merupakan metode statistika yang digunakan untuk menganalisis hubungan antara satu variabel independen dengan satu variabel dependen. Persamaan regresi linear sederhana adalah sebagai berikut.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (2.1)$$

dengan,

Y : variabel dependen

X : variabel independen

β_0 : intersep model

β_1 : koefisien *slope*

ε : *error*

Menurut Jumansyah (2020), analisis regresi linear berganda adalah metode statistika yang digunakan untuk menganalisis pengaruh dari dua atau lebih variabel

independen terhadap variabel dependen. Persamaan regresi linear berganda adalah sebagai berikut.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon_i \quad (2.2)$$

dengan,

Y_i	: variabel dependen
X_k	: variabel independen, $k = 1, 2, \dots$
β_0	: intersep model
$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$	: koefisien <i>slope</i>
ε_i	: <i>error</i>
k	: banyaknya pengamatan

2.2 Regresi Data Panel

Menurut Irwansyah, dkk., (2021), regresi data panel merupakan metode yang menggabungkan data yang dikumpulkan pada waktu yang sama dari berbagai unit (*cross-section*) dan data yang dikumpulkan dari waktu ke waktu unit yang sama (*time series*). Dalam data panel unit *cross-section* yang sama diamati secara berulang pada periode waktu yang berbeda. Keunggulan penggunaan regresi data panel adalah kemampuannya dalam menangkap variasi antar unit dan antar waktu, sehingga menghasilkan informasi yang lebih kaya dibandingkan dengan analisis *time series* atau *cross-section* secara terpisah (Indrasetyaningsih & Wasik, 2020). Persamaan regresi data panel adalah sebagai berikut.

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \dots + \beta_k X_{kit} + \varepsilon_{it} \quad (2.3)$$

dengan,

Y_{it}	: variabel dependen pada unit ke- i dan waktu ke- t
X_{it}	: variabel independen pada individu ke- i pada waktu ke- t
β_0	: konstanta (<i>intercept</i>)
β_k	: koefisien regresi untuk variabel independen ke- k
ε_{it}	: <i>error</i> untuk individu ke- i dan waktu ke- t

2.3 Estimasi Model Regresi Data Panel

Menurut Hill, dkk., (2011), terdapat tiga pendekatan yang digunakan untuk mengestimasi model regresi data panel yaitu, *Common Effect Model* (CEM), *Fixed Effect Model* (FEM), dan *Random Effect Model* (REM).

2.3.1 *Common Effect Model* (CEM)

Model *Common Effect Model* juga dikenal sebagai *Pooled Least Square* merupakan teknik regresi paling sederhana yang digunakan dalam analisis data panel. Model ini berasumsi bahwa seluruh pengaruh dari unit individu dan unit waktu diabaikan, sehingga *intercept* dan *slope* dianggap konstan sepanjang unit individu dan periode waktu (Nandita, dkk., 2019). Berikut persamaan untuk model CEM (Sriyana, 2014).

$$Y_{it} = \beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k X_{kit} + \varepsilon_{it} \quad (2.4)$$

dengan,

Y_{it} : variabel dependen untuk unit ke- i dan waktu ke- t

X_{kit} : variabel independen ke- k untuk unit ke- i dan waktu ke- t

β_0 : koefisien intersep untuk objek

β_k : koefisien *slope* variabel independen ke- k

ε_{it} : *error* unit ke- i dan waktu ke- t

Menurut Widarjono (2018), Model CEM dapat diestimasi menggunakan metode kuadrat terkecil (MKT) atau yang lebih dikenal dengan *Ordinary Least Square* (OLS). Metode OLS merupakan pendekatan yang umum digunakan untuk mengestimasi parameter model regresi populasi dengan menggunakan data sampel (Hutagalung & Darnius, 2022). Adapun prinsip dasar dari metode OLS disajikan pada persamaan (2.5).

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (2.5)$$

$$\varepsilon = Y - X\beta \quad (2.6)$$

Jumlah kuadrat galat adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \varepsilon^T \varepsilon &= (Y - X\beta)^T (Y - X\beta) \\ &= (Y^T - \beta^T X^T)(Y - X\beta) \\ &= Y^T Y - Y^T X\beta - \beta^T X^T Y + \beta^T X^T X\beta \\ &= Y^T Y - 2\beta^T X^T Y + \beta^T X^T X\beta \end{aligned} \quad (2.7)$$

Jika matriks *transpose* $(X\beta)^T = \beta^T X^T$ maka skalar $(\beta^T X^T Y)^T = Y^T X\beta$. Kemudian, turunan pertama dari $\varepsilon^T \varepsilon$ akan diminimumkan dan disamakan dengan nol terhadap parameter β .

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\varepsilon^T \varepsilon)}{\partial \beta} &= 0 \\ \frac{\partial(Y^T Y - 2\beta^T X^T Y + \beta^T X^T X\beta)}{\partial \beta} &= 0 \\ 0 - 2X^T Y + 2X^T X\hat{\beta} &= 0 \\ 2X^T X\hat{\beta} &= 2X^T Y \\ (X^T X)^{-1}(X^T X)\hat{\beta} &= (X^T X)^{-1}X^T Y \\ I\hat{\beta} &= (X^T X)^{-1}X^T Y \\ \hat{\beta} &= (X^T X)^{-1}X^T Y \end{aligned} \quad (2.8)$$

$\hat{\beta}$ merupakan persamaan metode OLS (Gujarati & Porter, 2009).

2.3.2 Fixed Effect Model (FEM)

Fixed Effect Model (FEM) merupakan model regresi yang memungkinkan adanya perbedaan nilai konstanta (*intercept*) antar individu dalam penelitian sebagai akibat dari variasi masing-masing objek, sementara koefisien regresi dianggap konstan baik secara individu maupun antar waktu. Menurut Sriyana (2014), FEM menunjukkan variasi *intercept* diantara individu, tetapi *slope* tetap konstan. Menurut Widarjono (2005), model FEM dapat disajikan pada persamaan (2.9).

$$Y_{it} = \beta_{0i} + \sum_{k=1}^K \beta_k X_{kit} + \varepsilon_{it} \quad (2.9)$$

dengan,

Y_{it} : variabel dependen untuk unit ke- i dan waktu ke- t

X_{kit} : variabel independen ke- k untuk unit ke- i dan waktu ke- t

β_{0i} : koefisien intersep untuk objek ke- i

β_k : koefisien *slope* variabel independen ke- k

ε_{it} : *error* unit ke- i dan waktu ke- t

Untuk mengestimasi model FEM, digunakan variabel *dummy* guna menangkap perbedaan nilai intersep antar individu atau objek penelitian. Model ini berasumsi bahwa koefisien *slope* bersifat tetap, baik antar individu maupun antar waktu. Estimasi parameter pada pendekatan FEM dilakukan dengan menggunakan metode *Least Square Dummy Variable (LSDV)*, yaitu metode estimasi regresi linier dengan pendekatan OLS yang memanfaatkan variabel *dummy* untuk merepresentasikan perbedaan intersep pada setiap objek. Persamaan estimasi FEM dengan variabel *dummy* dapat dituliskan sebagai berikut (Gujarati, 2009).

$$Y_{it} = \beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k X_{kit} + \sum_{i=1}^K \beta_{0i} D_{ki} + \varepsilon_{it} \quad (2.10)$$

dengan,

Y_{it} : variabel dependen untuk unit ke- i dan waktu ke- t

X_{kit} : variabel independen ke- k untuk unit ke- i dan waktu ke- t

D_{ki} : variabel *dummy* ke- k untuk unit ke- i , dengan $D_i = 1$ jika observasi berasal dari individu ke- i , dan 0 jika tidak.

β_k : parameter untuk variabel ke- k

ε_{it} : *error* untuk unit ke- i dan waktu ke- t

2.3.3 Random Effect Model (REM)

Random Effect Model (REM) melibatkan *error terms* yang menangkap efek perubahan individu dan waktu observasi, sehingga model ini memungkinkan adanya perbedaan *intercept* antar individu maupun antar waktu (Wooldridge, 2020). Berikut persamaan untuk model REM.

$$Y_{it} = \beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k X_{kit} + u_i + \varepsilon_{it} \quad (2.11)$$

Dengan,

Y_{it} : variabel dependen untuk unit ke- i dan waktu ke- t

X_{kit} : variabel independen ke- k untuk unit ke- i dan waktu ke- t

β_{0i} : koefisien intersep untuk objek ke- i

β_k : koefisien *slope* variabel independen ke- k

u_i : komponen *error* yang mewakili efek individu acak

ε_{it} : *error* unit ke- i dan waktu ke- t

Menurut Gujarati & Porter (2009), terdapat beberapa asumsi yang mendasari penggunaan *Random Effect Model* (REM). Pertama, *error* diasumsikan berdistribusi normal, di mana komponen *error* individu (u_i) dan *error* gangguan (ε_{it}) masing-masing memiliki distribusi normal dengan *mean* nol dan varians tertentu (σ_u^2 dan σ_ε^2). Kedua, tidak terdapat korelasi antar komponen *error*, baik antara u_i dan ε_{it} , maupun antar individu dan waktu yang berbeda.

Untuk mengestimasi parameter pada REM, digunakan metode *Generalized Least Square* (GLS). Metode ini merupakan pengembangan dari OLS yang dirancang untuk mengatasi masalah heteroskedastisitas serta mempertahankan sifat estimator agar tetap efisien, tak bias, dan konsisten (Rino, dkk., 2019).

Secara umum, model regresi linear pada REM dapat dituliskan dalam persamaan (2.6). Selanjutnya, persamaan tersebut dikalikan dengan matriks transformasi $\mathbf{P}$, sehingga diperoleh bentuk persamaan baru yang disajikan pada persamaan (2.12).

$$\begin{aligned} YP &= PX\beta + P\varepsilon \\ Y^* &= X^*\beta + \varepsilon^* \end{aligned} \quad (2.12)$$

Diketahui jika Ω matriks simetris definit positif, maka dengan P suatu matriks nonsingular dapat ditulis sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \Omega &= (P^T P)^{-1} \\ &= P^{-1} (P^T)^{-1} \end{aligned} \quad (2.13)$$

Bentuk inversnya yaitu,

$$\Omega^{-1} = P^T P \quad (2.14)$$

Langkah selanjutnya adalah mensubstitusikan $Y^* = PY$ dan $X^* = PX$ ke persamaan (2.8) sehingga diperoleh estimator untuk metode GLS terdapat pada persamaan (2.15).

$$\begin{aligned} \hat{\beta} &= (X^{*T} X^*)^{-1} X^{*T} Y^* \\ &= [(PX)^T (PX)]^{-1} (PX)^T PY \\ &= (X^T P^T P X)^{-1} X^T P^T P Y \\ &= (X' \Omega^{-1} X)^{-1} X' \Omega^{-1} Y \end{aligned} \quad (2.15)$$

$\hat{\beta}$ merupakan *Best Linear Unbiased Estimator* (BLUE) dari β dalam model $Y = X\beta + \varepsilon$ (Baltagi, 2008).

2.4 Pemilihan Model Regresi Data Panel

Pemilihan model regresi data panel bertujuan untuk mengetahui model estimasi yang terbaik. Pemilihan model regresi data panel dapat dilakukan dengan tiga uji yaitu uji Chow, Uji Hausman, dan uji *Lagrange Multiplier*.

2.4.1 Uji Chow

Uji Chow digunakan untuk mengevaluasi model regresi yang lebih cocok antara CEM dan FEM dengan melakukan pengujian signifikansi *intercept* (β_{0i}) menggunakan uji statistik F (Greene, 2002). Hipotesis yang digunakan dalam Uji Chow adalah sebagai berikut.

$H_0: \alpha_i = \alpha$ (model yang digunakan yaitu CEM)

$H_1: \alpha_i \neq \alpha$ (model yang digunakan yaitu FEM)

Statistik uji Chow yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$F_{hitung} = \frac{\frac{RSS_p - RSS_{DV}}{N - 1}}{\frac{RSS_{DV}}{NT - N - K}} \quad (2.16)$$

dengan,

$$RSS = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

RSS_p : jumlah kuadrat sisa dari model CEM

RSS_{DV} : jumlah kuadrat sisa dari model FEM

Y_i : nilai aktual variabel dependen

$\hat{Y}_i$: nilai prediksi dari model regresi

N : jumlah individu/unit

T : jumlah periode waktu

K : jumlah variabel independen

Taraf signifikansi yang digunakan adalah $\alpha = 0,05$. Apabila $p\text{-value} < 0,05$, maka H_0 ditolak, sehingga model yang dipilih adalah FEM. Sebaliknya, jika $p\text{-value} > 0,05$, maka H_0 diterima, sehingga model yang dipilih adalah CEM.

2.4.2 Uji Hausman

Uji Hausman merupakan pengujian yang digunakan untuk menentukan model regresi yang lebih baik digunakan antara model FEM dan model REM (Greene, 2002). Hipotesis yang digunakan dalam Uji Hausman adalah sebagai berikut.

$H_0: Cov(x_{it}, \mu_i) = 0$ (model yang digunakan yaitu REM)

$H_1: Cov(x_{it}, \mu_i) \neq 0$ (model yang digunakan yaitu FEM)

Statistik uji yang digunakan berdasarkan kriteria Wald adalah sebagai berikut.

$$W = (\hat{\beta}_{FEM} - \hat{\beta}_{REM})^T [Var(\hat{\beta}_{FEM} - \hat{\beta}_{REM})]^{-1} [\hat{\beta}_{FEM} - \hat{\beta}_{REM}] \quad (2.17)$$

$$W \sim \chi^2_{(k)}$$

dengan,

$\hat{\beta}_{FEM}$: estimasi parameter dari model FEM

$\hat{\beta}_{REM}$: estimasi parameter dari model REM

Taraf signifikansi yang digunakan adalah $\alpha = 0,05$. Apabila $p\text{-value} < 0,05$, maka H_0 ditolak, sehingga model yang dipilih adalah FEM. Sebaliknya, jika $p\text{-value} > 0,05$, maka H_0 diterima, sehingga model yang dipilih adalah REM.

2.4.3 Uji Lagrange Multiplier

Uji *Lagrange Multiplier* merupakan metode pengujian yang digunakan untuk menentukan model regresi data panel yang paling sesuai antara model CEM dan model REM (Gujarati, 2009). Hipotesis yang digunakan dalam Uji *Lagrange Multiplier* adalah sebagai berikut.

$H_0: \sigma_\mu^2 = 0$ (model yang digunakan yaitu CEM)

$H_1: \sigma_\mu^2 \neq 0$ (model yang digunakan yaitu REM)

Statistik uji yang digunakan dalam uji *Lagrange Multiplier* adalah sebagai berikut.

$$LM = \frac{nT}{2(T-1)} \left[\frac{\sum_{i=1}^n [\sum_{t=1}^T e_{it}]^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T e_{it}^2} - 1 \right]^2 \quad (2.18)$$

$$LM \sim \chi^2_{(k)}$$

dengan,

- n : jumlah individu
 T : jumlah periode waktu
 e_{it} : residual pada CEM

Taraf signifikansi yang digunakan dalam pengujian ini adalah $\alpha = 0,05$. Jika nilai $p\text{-value} < 0,05$, maka H_0 ditolak, yang berarti terdapat perbedaan signifikan antara model CEM dan REM, sehingga model yang lebih tepat digunakan adalah REM. Sebaliknya, jika $p\text{-value} > 0,05$, maka H_0 tidak ditolak, yang menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua model tersebut, sehingga model yang lebih sesuai digunakan adalah CEM. Dengan demikian, hasil uji ini membantu menentukan apakah variasi data antar individu dan waktu perlu dimasukkan ke dalam model melalui pendekatan efek acak, atau dapat diasumsikan homogen seperti pada model gabungan.

2.5 Regresi Spasial Data Panel

Menurut Nabila & Yotenka (2021), regresi spasial digunakan untuk mengetahui korelasi antar variabel dengan memperhatikan adanya efek spasial pada lokasi yang digunakan untuk observasi. Sementara itu, regresi spasial data panel adalah gabungan dari data yang bersifat *cross-section* dan *time series* dengan melihat pengaruh dari spasial atau area pada tiap individu.

Regresi spasial data panel merupakan pengembangan dari model regresi data panel dengan menambahkan unsur spasial ke dalam analisisnya. Model ini digunakan ketika data yang diamati tidak hanya memiliki dimensi waktu dan individu (seperti

pada data panel konvensional), tetapi juga terdapat ketergantungan spasial antar unit observasi (misalnya antar wilayah). Dengan demikian, model ini mampu menangkap hubungan dinamis baik dalam dimensi waktu maupun ruang secara simultan (Elhorst, 2021).

Menurut Elhorst, dkk., (2010), regresi spasial data panel memungkinkan peneliti untuk menganalisis bagaimana suatu fenomena di satu wilayah dipengaruhi oleh kondisi wilayah lain di sekitarnya, dengan tetap mempertimbangkan variasi yang terjadi antar waktu. Sementara itu, LeSage & Pace (2009), menjelaskan bahwa dalam model spasial, pengaruh antar wilayah dimasukkan melalui matriks pembobot spasial (*spatial weight matrix*) yang menunjukkan hubungan kedekatan atau interaksi antar unit observasi.

Bentuk umum model regresi spasial data panel menurut Elhorst (2021), dapat dituliskan sebagai berikut.

$$Y_{it} = \rho \mathbf{W} \mathbf{Y}_{it} + \mathbf{X}_{it} \boldsymbol{\beta} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (2.19)$$

dengan ρ merupakan koefisien autokorelasi spasial, $\mathbf{W}$ adalah matriks berukuran $1 \times n$, $\mathbf{Y}_{it}$ adalah matriks variabel dependen berukuran $n \times 1$, $\mathbf{X}_{it}$ adalah vektor variabel independen berukuran $1 \times k$, $\boldsymbol{\beta}$ adalah vektor parameter berukuran $k \times 1$, μ_i menunjukkan efek spasial spesifik (*individual effect*), λ_t menunjukkan efek waktu (*time effect*), dan ε_{it} merupakan *error* acak.

2.6 Matriks Pembobot Spasial

Matriks pembobot spasial dilambangkan dengan $\mathbf{W}$ (Anselin, 1999). Elemen-elemen dalam matriks $\mathbf{W}$ mencerminkan tingkat pengaruh antar tetangga terhadap suatu lokasi tertentu. Menurut LeSage (1999), terdapat beberapa jenis matriks pembobot spasial yang dikategorikan berdasarkan hubungan spasial, yaitu *Rook Contiguity*, *Bishop Contiguity*, dan *Queen Contiguity*.

1. *Rook Contiguity* (bersinggungan sisi), mendefinisikan $W_{ij} = 1$ untuk wilayah yang berbatasan langsung di utara, timur, barat atau selatan dengan wilayah yang dipertimbangkan, sementara sudut tidak diperhitungkan dengan mendefinisikan $W_{ij} = 0$ untuk wilayah lain.

	Unit B_2	
Unit B_1	A	Unit B_3
	Unit B_4	

Gambar 1. Matriks pembobot spasial *Rook Contiguity*.

2. *Bishop Contiguity* (bersinggungan sudut), memberikan bobot $W_{ij} = 1$ untuk wilayah yang berdekatan secara sudut dengan wilayah yang dipertimbangkan, sementara sisi tidak diperhitungkan dengan mendefinisikan $W_{ij} = 0$ untuk wilayah lain.

Unit C_1		Unit C_2
	A	
Unit C_3		Unit C_4

Gambar 2. Matriks pembobot spasial *Bishop Contiguity*.

3. *Queen Contiguity* (bersinggungan sisi dan sudut), memberikan bobot $W_{ij} = 1$ untuk wilayah yang berbatasan baik di sisi maupun sudut dengan wilayah yang dipertimbangkan, dan $W_{ij} = 0$ untuk wilayah lain.

Unit C_1	Unit B_2	Unit C_2
Unit B_1	A	Unit B_3
Unit C_3	Unit B_4	Unit C_4

Gambar 3. Matriks pembobot spasial *Queen Contiguity*.

Matriks pembobot spasial yang dibangun berdasarkan hubungan *contiguity* digunakan untuk merepresentasikan kedekatan antarwilayah melalui penentuan wilayah-wilayah yang saling bertetangga. Pada matriks pembobot spasial tersebut, proses standarisasi baris dilakukan dengan membagi setiap elemen bobot dengan jumlah tetangga pada wilayah tersebut, sehingga bobot masing-masing tetangga bernilai satu dibagi jumlah tetangga dan jumlah bobot pada setiap baris sama dengan satu.

Standarisasi matriks pembobot spasial penting dilakukan setelah matriks dibentuk karena bertujuan untuk menyeragamkan skala bobot antarwilayah. Dengan adanya standarisasi ini, pengaruh antarwilayah dinyatakan dalam bentuk proporsi yang sebanding, sehingga analisis spasial menjadi lebih stabil dan mudah diinterpretasikan.

2.7 Autokorelasi Spasial

Autokorelasi spasial mengukur korelasi antara nilai-nilai pengamatan berdasarkan lokasi spasial pada variabel yang sama. Ketika setiap lokasi yang diamati menunjukkan ketergantungan satu sama lain dalam ruang, ini menunjukkan adanya autokorelasi spasial. Terdapat dua jenis autokorelasi spasial, yaitu autokorelasi spasial positif menunjukkan bahwa nilai-nilai dari lokasi-lokasi yang berdekatan cenderung mirip dan berkelompok, sedangkan autokorelasi spasial negatif

menunjukkan bahwa nilai-nilai dari lokasi yang berdekatan cenderung berbeda dan tersebar (Wuryandari, dkk., 2014). Dalam penelitian ini, pengujian aurokorelasi spasial dilakukan menggunakan Indeks Moran.

Pengujian efek spasial dapan dilakukan dengan uji Moran's I dalam hipotesis sebagai berikut.

$H_0: I = 0$ (tidak ada autokorelasi antarwilayah)

$H_1: I \neq 0$ (ada autokorelasi antarwilayah)

Statistik uji yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$z = \frac{I - E(I)}{\sqrt{var(I)}} \quad (2.20)$$

dengan,

$$I = \frac{N \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij} (x_i - \bar{x})^2}$$

$$E(I) = \frac{-1}{N-1}$$

$$var(I) = \frac{(N^2 S_1 - N S_2 + 3 W_{ij}^2)}{W_{ij}^2 (N^2 - 1)}$$

Taraf signifikansi yang digunakan adalah $\alpha = 0,05$. Apabila $Z_{hitung} > Z_{\alpha/2}$ atau $p\text{-value} < \alpha$, maka tolak H_0 . Pada nilai indeks Morans'I yaitu diantara -1 dan 1 . Misalnya $I > I_0$ yaitu terjadi autokorelasi positif, dan jika $I < I_0$ disebut autokorelasi negatif.

2.8 Estimasi Model Regresi Spasial Data Panel

Menurut Elhorst (2009), model spasial data panel digunakan untuk menganalisis pengaruh spasial antar wilayah dalam periode waktu tertentu. Interaksi spasial dapat muncul melalui spasial lag pada variabel dependen atau spasial error pada galat, yang masing-masing dikenal sebagai *Spatial Autoregressive Model (SAR)*, *Spatial*

Error Model (SEM), serta gabungannya yaitu *Spatial Autoregressive Random Effect Model* (SAR-RE).

2.8.1 *Spatial Autoregressive Model* (SAR)

Model *Spatial Autoregressive* (SAR) menyatakan bahwa *spatial lag* terjadi ketika nilai variabel dependen suatu wilayah berkorelasi dengan nilai variabel dependen wilayah tetangganya, yang tercermin dalam parameter $\rho \neq 0$ yang berarti ada pengaruh spasial langsung antarwilayah pada variabel dependen, sehingga nilai Y suatu wilayah dipengaruhi oleh nilai Y wilayah tetangganya. dan $\lambda = 0$ yang berarti tidak ada autokorelasi spasial pada *error*, sehingga model tidak memasukkan ketergantungan spasial pada komponen kesalahan. (Anselin, 1999). Model dari SAR disajikan pada persamaan 2.21.

$$\begin{aligned} \mathbf{y} &= \rho \mathbf{W}\mathbf{y} + \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \\ \boldsymbol{\varepsilon} &\sim N(0, I\sigma^2) \end{aligned} \quad (2.21)$$

Dimana ρ merupakan parameter koefisien spasial *lag* pada variabel dependen, $\mathbf{y}$ adalah vektor variabel dependen berukuran $n \times 1$, $\mathbf{W}$ adalah matriks pembobot spasial berukuran $n \times n$, $\mathbf{X}$ adalah matriks variabel independen berukuran $n \times (k + 1)$, $\boldsymbol{\beta}$ adalah vektor parameter koefisien regresi berukuran $(k + 1) \times 1$ dan $\boldsymbol{\varepsilon}$ adalah vektor galat (*error*) berukuran $n \times 1$. Berikut ini adalah bentuk estimasi parameter SAR yang diperoleh dengan menggunakan metode OLS sebagai berikut (LeSage, 2009).

Nyatakan persamaan (2.21) ke dalam bentuk $\boldsymbol{\varepsilon}$ sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\varepsilon} &= \mathbf{y} - \rho \mathbf{W}\mathbf{y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} \\ &= (1 - \rho \mathbf{W})\mathbf{y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} \end{aligned} \quad (2.22)$$

Jumlah kuadrat galat adalah sebagai berikut.

$$\boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\varepsilon} = [(1 - \rho \mathbf{W})\mathbf{y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}]^T [(1 - \rho \mathbf{W})\mathbf{y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}]$$

Dengan menggunakan sifat matriks *transpose* yaitu $(\mathbf{A} - \mathbf{B})^T = \mathbf{A}^T - \mathbf{B}^T$ dan $(\mathbf{AB})^T = \mathbf{B}^T \mathbf{A}^T$, maka diperoleh persamaan (2.23).

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\varepsilon} &= [(1 - \rho \mathbf{W})\mathbf{y}]^T - \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{X}^T] [(1 - \rho \mathbf{W})\mathbf{y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}] \\
&= [(1 - \rho \mathbf{W})\mathbf{y}]^T [(1 - \rho \mathbf{W})\mathbf{y}] - [(1 - \rho \mathbf{W})\mathbf{y}]^T \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{X}^T \\
&\quad [(1 - \rho \mathbf{W})\mathbf{y}] + \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{X}^T \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}
\end{aligned} \tag{2.23}$$

Suatu matriks dapat dikatakan sebagai matriks simetri jika $\mathbf{A}$ adalah matriks persegi dengan entri-entri bilangan real sehingga $\mathbf{A}^T = \mathbf{A}$ (Lipschutz & Lipson, 2006). Matriks $\mathbf{X}\mathbf{B}$ adalah matriks simetri, maka $[(1 - \rho \mathbf{W})\mathbf{y}]^T \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} = \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{X}^T [(1 - \rho \mathbf{W})\mathbf{y}]$ sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$\boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\varepsilon} = [(1 - \rho \mathbf{W})\mathbf{y}]^T [(1 - \rho \mathbf{W})\mathbf{y}] - 2\boldsymbol{\beta}^T \mathbf{X}^T [(1 - \rho \mathbf{W})\mathbf{y}] + \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{X}^T \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} \tag{2.24}$$

Turunkan persamaan (2.24) terhadap $\boldsymbol{\beta}$.

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\varepsilon}}{\partial \boldsymbol{\beta}} &= \frac{\partial [(1 - \rho \mathbf{W})\mathbf{y}]^T [(1 - \rho \mathbf{W})\mathbf{y}] - 2\boldsymbol{\beta}^T \mathbf{X}^T [(1 - \rho \mathbf{W})\mathbf{y}] + \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{X}^T \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}}{\partial \boldsymbol{\beta}} \\
&= -2\mathbf{X}^T [(1 - \rho \mathbf{W})\mathbf{y}] + 2\mathbf{X}^T \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}
\end{aligned} \tag{2.25}$$

Setelah hasil turunan diperoleh, samakan persamaan (2.25) dengan 0.

$$\begin{aligned}
-2\mathbf{X}^T [(1 - \rho \mathbf{W})\mathbf{y}] + 2\mathbf{X}^T \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} &= \mathbf{0} \\
2\mathbf{X}^T \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} &= 2\mathbf{X}^T [(1 - \rho \mathbf{W})\mathbf{y}] \\
\mathbf{X}^T \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} &= \mathbf{X}^T [(1 - \rho \mathbf{W})\mathbf{y}] \\
\hat{\boldsymbol{\beta}} &= (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T [(1 - \rho \mathbf{W})\mathbf{y}]
\end{aligned} \tag{2.26}$$

$\hat{\boldsymbol{\beta}}$ merupakan persamaan metode OLS.

2.8.2 Spatial Error Model (SEM)

Spatial Error Model menjelaskan hubungan spasial pada variabel lain yang tidak termasuk dalam model atau yang tercermin dalam *error* yang terjadi ketika $\rho = 0$ yang berarti tidak ada pengaruh spasial langsung antarwilayah pada variabel dependen, sehingga nilai Y suatu wilayah tidak dipengaruhi oleh nilai Y wilayah tetangganya. dan $\lambda \neq 0$ yang berarti ada autokorelasi spasial pada *error* atau kesalahan antarwilayah saling berkaitan. (Anselin, 1999). Model umumnya disajikan dalam persamaan (2.27).

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{u} \quad (2.27)$$

dengan,

$$\begin{aligned} \mathbf{u} &= \lambda \mathbf{W}\mathbf{u} + \boldsymbol{\varepsilon} \\ \mathbf{u} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{u} &= \boldsymbol{\varepsilon} \\ (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})\mathbf{u} &= \boldsymbol{\varepsilon} \\ \mathbf{u} &= (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^{-1} \boldsymbol{\varepsilon} \end{aligned} \quad (2.28)$$

$$\mathbf{y} = \rho \mathbf{W}\mathbf{y} + \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^{-1} \boldsymbol{\varepsilon} \quad (2.29)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon} \sim N(0, \sigma^2 \mathbf{I})$$

Dimana $\mathbf{y}$ adalah vektor variabel dependen berukuran $n \times 1$, $\mathbf{X}$ adalah matriks variabel independen berukuran $n \times (k + 1)$, $\boldsymbol{\beta}$ adalah vektor parameter koefisien regresi berukuran $(k + 1) \times 1$, λ adalah koefisien parameter spasial *error*, $\mathbf{W}$ adalah matriks pembobot spasial berukuran $n \times n$, dan $\boldsymbol{\varepsilon}$ adalah vektor galat (*error*) berukuran $n \times 1$. bentuk estimasi parameter SEM yang diperoleh dengan menggunakan metode OLS sebagai berikut (LeSage, 2009).

Dari persamaan (2.29), setiap ruas dikalikan dengan $(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})$.

$$\begin{aligned} \mathbf{y}(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W}) &= \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W}) + \boldsymbol{\varepsilon} \\ \boldsymbol{\varepsilon} &= \mathbf{y}(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W}) - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W}) \\ \boldsymbol{\varepsilon} &= (\mathbf{y} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{y}) - \boldsymbol{\beta}(\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{X}) \end{aligned} \quad (2.30)$$

Jumlah kuadrat galat adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\varepsilon} &= [(\mathbf{y} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{y}) - \boldsymbol{\beta}(\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{X})]^T [(\mathbf{y} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{y}) - \boldsymbol{\beta}(\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{X})] \\ &= [(\mathbf{y} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{y})^T - (\boldsymbol{\beta}(\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{X}))^T] [(\mathbf{y} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{y}) - \boldsymbol{\beta}(\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{X})] \\ \boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\varepsilon} &= [(\mathbf{y} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{y})^T - (\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{X})^T \boldsymbol{\beta}^T] [(\mathbf{y} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{y}) - \boldsymbol{\beta}(\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{X})] \\ &= (\mathbf{y} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{y})^T (\mathbf{y} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{y}) - (\mathbf{y} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{y})^T \boldsymbol{\beta}(\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{X}) - \\ &\quad (\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{X})^T \boldsymbol{\beta}^T (\mathbf{y} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{y}) + (\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{X})^T \boldsymbol{\beta}^T \boldsymbol{\beta} (\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{X}) \end{aligned} \quad (2.31)$$

Dengan menggunakan sifat matriks transpose $(\mathbf{AB})^T = \mathbf{B}^T \mathbf{A}^T$ maka,

$$[(\mathbf{y} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{y})^T \boldsymbol{\beta}(\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{X})]^T = (\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{X})^T \boldsymbol{\beta}^T (\mathbf{y} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{y})$$

Sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\varepsilon} &= (\mathbf{y} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{y})^T (\mathbf{y} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{y}) - 2(\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{X})^T \boldsymbol{\beta}^T (\mathbf{y} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{y}) + \\ &\quad (\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{X})^T \boldsymbol{\beta}^T \boldsymbol{\beta} (\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W}\mathbf{X}) \end{aligned} \quad (2.32)$$

Turunan pertama dari $\boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\varepsilon}$ akan diminimumkan dan disamakan dengan nol terhadap parameter $\boldsymbol{\beta}$.

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\varepsilon})}{\partial \boldsymbol{\beta}} &= \mathbf{0} \\ \frac{\partial}{\partial \boldsymbol{\beta}} ((\mathbf{y} - \lambda \mathbf{W} \mathbf{y})^T (\mathbf{y} - \lambda \mathbf{W} \mathbf{y}) - 2(\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W} \mathbf{X})^T \boldsymbol{\beta}^T (\mathbf{y} - \lambda \mathbf{W} \mathbf{y}) \\ &\quad + (-\lambda \mathbf{W} \mathbf{X})^T \boldsymbol{\beta}^T \boldsymbol{\beta} (\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W} \mathbf{X})) = \mathbf{0} \\ -2(\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W} \mathbf{X})^T (\mathbf{y} - \lambda \mathbf{W} \mathbf{y}) + 2(\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W} \mathbf{X})^T \boldsymbol{\beta} (\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W} \mathbf{X}) &= \mathbf{0} \\ 2(\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W} \mathbf{X})^T \boldsymbol{\beta} (\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W} \mathbf{X}) &= 2(\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W} \mathbf{X})^T (\mathbf{y} - \lambda \mathbf{W} \mathbf{y}) \\ (\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W} \mathbf{X})^T \boldsymbol{\beta} (\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W} \mathbf{X}) &= (\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W} \mathbf{X})^T (\mathbf{y} - \lambda \mathbf{W} \mathbf{y}) \\ \hat{\boldsymbol{\beta}} &= (\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W} \mathbf{X})^T (\mathbf{y} - \lambda \mathbf{W} \mathbf{y}) [(\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W} \mathbf{X})^T (\mathbf{X} - \lambda \mathbf{W} \mathbf{X})]^{-1} \end{aligned} \quad (2.33)$$

$\hat{\boldsymbol{\beta}}$ merupakan persamaan metode OLS.

2.8.3 Spatial Autoregressive Random Effect Model (SAR-RE)

Model *Spatial Autoregressive Random Effects* (SAR-RE) merupakan bentuk pengembangan dari regresi panel spasial yang dirancang untuk menangkap adanya keterkaitan spasial antar wilayah sekaligus perbedaan karakteristik individu yang bersifat acak. Dalam model ini, pengaruh interaksi antar wilayah dimodelkan melalui penyertaan *spatial lag* dari variabel dependen, sedangkan efek acak digunakan untuk merepresentasikan karakteristik wilayah yang tidak dapat diamati secara langsung dan diasumsikan konstan sepanjang periode pengamatan. Menurut Elhorst (2014), model SAR-RE mampu menghasilkan estimasi parameter yang efisien apabila efek individu diasumsikan tidak berkorelasi dengan variabel penjelas. Model umumnya disajikan dalam persamaan berikut.

$$Y_{it} = \hat{\beta}_0 + \rho \sum_{j=1}^N W_{ij} y_{jt} + \boldsymbol{\beta} \mathbf{X}_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (2.34)$$

Dimana Y_{it} merupakan variabel dependen pada wilayah i dan waktu t , sedangkan y_{jt} adalah variabel dependen yang sama pada wilayah j pada waktu yang sama yang mencerminkan pengaruh spasial antarwilayah, $\hat{\beta}_{0i}$ merupakan intersep yang

berbeda untuk tiap unit i , X_{it} merupakan matriks variabel independen pada wilayah i dan waktu t , W_{ij} adalah elemen matriks pembobot spasial yang menggambarkan hubungan kedekatan antarwilayah, β merupakan vektor koefisien regresi, ρ adalah koefisien autoregresi spasial, μ_i adalah efek acak spesifik wilayah yang konstan sepanjang waktu, dan ε_{it} merupakan komponen *error* pada wilayah i dan waktu t .

2.9 Pemilihan Model Regresi Spasial Data Panel

Menurut Tamara, dkk., (2016), pengujian efek spasial dapat dilakukan dengan uji *Lagrange Multiplier* untuk mengetahui ada tidaknya interaksi spasial dalam model. Jika hasil LM_{lag} signifikan, maka model yang sesuai adalah SAR, sedangkan jika LM_{error} signifikan, model yang tepat adalah SEM. Apabila kedua uji tersebut signifikan, maka model yang digunakan adalah SARMA (Anselin, 1999).

Uji *Lagrange Multiplier* terbagi menjadi dua jenis, yaitu uji *Lagrange Multiplier* pada *lag* dan uji *Lagrange Multiplier* pada *error*.

1. Uji *Lagrange Multiplier* pada *lag*, digunakan untuk mengidentifikasi autokorelasi spasial *lag* pada variabel terikat. Hipotesis yang digunakan pada LM_{lag} adalah sebagai berikut.

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

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

Statistik uji yang digunakan disajikan dalam persamaan (2.35).

$$LM_{lag} = \frac{\left(\frac{e^T W_1 y}{s^2} \right)^2}{\frac{((W_1 X \beta)^T M (W_1 X \beta) + T s^2)}{s^2}} \quad (2.35)$$

dengan,

$$M = I - X(X^T X)^{-1} X^T \quad (2.36)$$

$$T = tr \left((W_1^T + W_1) W_1 \right) \quad (2.37)$$

$$s^2 = \frac{\mathbf{e}^T \mathbf{e}}{n} \quad (2.38)$$

Dimana $\mathbf{e}$ adalah vektor residual berukuran $n \times 1$, $\mathbf{W}_1$ adalah matriks pembobot spasial berukuran $n \times n$, $\mathbf{X}$ adalah matriks variabel independen berukuran $1 \times n$, $\boldsymbol{\beta}$ adalah vektor parameter koefisien regresi berukuran $n \times 1$, $\mathbf{M}$ adalah matriks proyeksi yang menghasilkan residual dari regresi OLS berukuran $n \times n$, T adalah jumlah observasi dalam *cross-section*, dan s^2 adalah ragam residu OLS. Pengambilan keputusan dilakukan dengan menolak H_0 jika nilai $LM_{lag} > \chi^2(\alpha, 1)$ atau $p\text{-value} < \alpha$.

2. Uji *Lagrange Multiplier* pada *error*, digunakan untuk mengidentifikasi autokorelasi spasial pada *error*. Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut.

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

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

Statistik uji yang digunakan disajikan pada persamaan (2.34).

$$LM_{error} = \frac{\left(\frac{\mathbf{e}^T \mathbf{W}_2 \mathbf{e}}{\sigma^2} \right)^2}{T} \quad (2.39)$$

dengan,

$$T = tr \left((\mathbf{W}_2^T + \mathbf{W}_2) \mathbf{W}_2 \right)$$

$$\sigma^2 = \frac{\mathbf{e}^T \mathbf{e}}{n}$$

Dimana $\mathbf{e}$ adalah vektor residual berukuran $n \times 1$, $\mathbf{W}_2$ adalah matriks pembobot spasial berukuran $n \times n$, T adalah jumlah observasi dalam *cross-section*, dan σ^2 adalah ragam residu OLS. Pengambilan keputusan dilakukan dengan menolak H_0 jika nilai $LM_{error} > \chi^2(\alpha, 1)$ atau $p\text{-value} < \alpha$.

2.10 Uji Signifikansi Parameter Model

Uji signifikansi parameter bertujuan untuk mengetahui apakah variabel independen memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel dependen dalam model regresi. Menurut Gujarati & Porter (2009), pengujian signifikansi parameter dapat dilakukan dengan uji-t (uji parsial) yang digunakan untuk menguji apakah masing-masing variabel independen secara individu berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen dengan mengasumsikan variabel lain konstan (Widarjono, 2018).

Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut.

$H_0: \beta_i = 0$ (tidak terdapat pengaruh signifikan antar variabel)

$H_1: \beta_i \neq 0$ (terdapat pengaruh signifikan antar variabel)

Statistik uji yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$t_i = \frac{\hat{\beta}_i}{SE(\hat{\beta}_i)} \quad (2.40)$$

dengan,

$\hat{\beta}_i$: koefisien regresi untuk variabel X_i

$SE(\hat{\beta}_i)$: standar *error* dari $\hat{\beta}_i$

Taraf signifikansi yang digunakan adalah $\alpha = 0,05$. Pengambilan keputusan pada uji t dilakukan dengan cara menolak H_0 apabila nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$ atau jika nilai $p\text{-value} < 0,05$, yang berarti variabel independen berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen.

2.11 Uji Kebaikan Model

Menurut Gujarati (2009), kebaikan model dapat dilakukan dengan cara menghitung koefisien determinasi (R^2) yang dapat dilakukan menggunakan perhitungan dalam persamaan (2.41).

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (2.41)$$

dengan,

$$SSE = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

$$SST = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$$

$R^2(\tilde{e})$: koefisien determinasi model regresi

SSE : jumlah kuadrat sisaan (*sum of squared errors*)

SST : jumlah kuadrat total (*total sum of squares*)

Y_i : nilai observasi variabel dependen ke- i

$\hat{Y}_i$: nilai yang diprediksi oleh model regresi untuk observasi ke- i

$\bar{Y}$: rata-rata dari seluruh observasi variabel independen

Nilai R^2 menggambarkan pengaruh yang dapat dijelaskan oleh variabel independen dalam model terhadap variabel dependen. Artinya makin besar R^2 maka pengaruh yang dapat dijelaskan oleh variabel independen terhadap model variabel dependen maka akan semakin besar pula dan disimpulkan bahwa semakin baik model yang dihasilkan. Terkait hal di atas dapat disimpulkan bahwa R^2 dapat digunakan untuk kriteria pemilihan model dengan ketentuan R^2 terbesar yang akan di pilih.

2.12 Pengujian Asumsi Regresi

Pengujian asumsi regresi yang perlu dilakukan yaitu normalitas, multikolinearitas, heteroskedastisitas, dan autokorelasi.

1. Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah nilai residu yang dihasilkan mengikuti distribusi normal atau tidak. Suatu model regresi dianggap baik apabila residunya berdistribusi normal (Purnomo, 2017). Menurut Roflin & Zulvia (2021), pengujian normalitas data dapat dilakukan secara subjektif

maupun analitik. Secara analitik, salah satu metode yang dapat digunakan adalah uji *Jarque-Bera*.

Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut.

$H_0: \varepsilon_i = N(0, \sigma^2)$ (residual berdistribusi normal)

$H_1: \varepsilon_i \neq N(0, \sigma^2)$ (residual tidak berdistribusi normal)

Statistik uji yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$JB = N \left[\frac{S_k^2}{6} + \frac{(K - 3)^2}{24} \right] \quad (2.42)$$

dengan,

S_k : *skewness* (kemiringan)

K : kurtosis (ukuran keruncingan distribusi data)

N : jumlah observasi (jumlah data)

Kriteria uji yang digunakan jika $p\text{-value} < 0,05$ maka H_0 ditolak dan dapat disimpulkan bahwa residual tidak berdistribusi normal. Sebaliknya, jika $p\text{-value} > 0,05$ maka H_0 diterima dan dapat disimpulkan bahwa residual berdistribusi normal (Ramdani & Bina, 2021).

2. Multikolinearitas

Dalam analisis regresi variabel harus memenuhi syarat tidak terjadinya multikolinearitas. Multikolinearitas terjadi ketika variabel bebas yang digunakan saling berkorelasi. Untuk pengujian yang lebih cermat dapat menggunakan faktor inflasi variansi, atau VIF (*Variance Inflation Factor*).

Perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$VIF = \frac{1}{1 - R_j^2} \quad (2.43)$$

R_j^2 adalah koefisien determinasi, di mana variabel bebas yang dipilih digunakan sebagai variabel terikat dan variabel bebas lainnya sebagai variabel bebas. Jika VIF yang diperoleh lebih dari 10 maka dianggap tidak memuaskan atau terjadi multikolinearitas. Sedangkan jika VIF kurang dari 10 maka tidak terjadi multikolinearitas (Lind, dkk., 2007).

3. Heteroskedastisitas

Heterokedastisitas adalah varian residual yang tidak sama pada semua pengamatan di dalam model regresi linier. Jika varian residual adalah sama hal ini disebut homokedastisitas. Model regresi yang baik adalah model yang berada dalam posisi homokedastisitas dan tidak terjadi heterokedastisitas (Purnomo, 2017).

Terdapat dua metode untuk mendeteksi heterokedastisitas yaitu metode grafik dan metode statistik. Metode grafik hanya melihat heterokedastisitas berdasarkan subjektivitas dari pengamatan terhadap grafik. Oleh karena itu pengujian heterokedastisitas dengan uji statistik lebih sering digunakan karena hasilnya lebih akurat. Metode statistik yang digunakan pada penelitian ini adalah uji glejser (Firdaus, 2021).

Cara untuk melakukan pengujian heterokedastisitas adalah menggunakan uji Glejser (Pianda, 2018). Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$H_0: Var(\varepsilon_i) = \sigma^2 \text{ (residual homoskedastisitas)}$$

$$H_1: Var(\varepsilon_i) \neq \sigma^2 \text{ (residual heterosekdastisitas)}$$

Statistik uji yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$|e_i| = \alpha + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + u_i \quad (2.44)$$

dengan,

X_{ki} : variabel bebas ke- k pada observasi ke- i

α : konstanta (intersep)

β_k : koefisien regresi untuk variabel bebas ke- k

u_i : *error*

Kriteria uji yang digunakan jika $p\text{-value} < 0,05$ maka H_0 ditolak dan dapat disimpulkan bahwa terjadi heteroskedastisitas. Sebaliknya, jika $p\text{-value} > 0,05$ maka H_0 diterima dan dapat disimpulkan bahwa terjadi homoskedastisitas.

4. Autokorelasi

Menurut Pramesti (2016), autokorelasi terjadi jika terdapat korelasi sesatan residual antarobservasi. Jika korelasinya adalah positif maka disebut

autokorelasi positif. Sebaliknya, jika korelasi yang terjadi adalah negatif maka disebut terjadi autokorelasi negatif. Pengujian autokorelasi dapat dilakukan dengan uji Ljung-Box. hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut.

$H_0: \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_k = 0$ (tidak ada autokorelasi dalam model)

$H_1: \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_k \neq 0$ (ada autokorelasi dalam model)

Statistik uji yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$Q = n(n+2) \sum_{k=1}^m \frac{\hat{\rho}_k^2}{n-k} \quad (2.45)$$

dengan,

n : jumlah observasi

m : jumlah lag yang diuji

$\hat{\rho}_k$: autokorelasi pada lag ke- k

Kriteria uji yang digunakan jika $p\text{-value} < 0,05$, maka H_0 ditolak sehingga residual dinyatakan memiliki autokorelasi atau tidak bersifat *white noise*. Sebaliknya, jika $p\text{-value} \geq 0,05$, maka H_0 gagal ditolak yang berarti residual tidak memiliki autokorelasi dan dapat dianggap bersifat *white noise*.

Tujuan uji autokorelasi adalah untuk melihat apakah ada korelasi antar *error* periode t dengan *error* periode $t - 1$ atau sebelumnya, jika ditemukan korelasi maka hal ini disebut problem autokorelasi. Pengujian autokorelasi ini hanya dilakukan pada data time series, sedangkan untuk data *cross-section* uji autokorelasi tidak perlu dilakukan (Febry & Teofilus, 2020).

2.13 Indeks Pembangunan Manusia (IPM)

IPM merupakan salah satu indikator yang digunakan untuk menilai tingkat keberhasilan pembangunan manusia di suatu negara. Konsep pembangunan manusia tidak hanya menitikberatkan pada aspek ekonomi semata, tetapi lebih menekankan pada peningkatan kualitas hidup penduduk secara menyeluruh.

IPM dirancang untuk merepresentasikan dimensi-dimensi utama dalam pembangunan manusia. Pengukuran IPM didasarkan pada tiga indikator komposit yang mencerminkan capaian pembangunan manusia secara rata-rata, yaitu dimensi kesehatan yang diwakili oleh angka harapan hidup, dimensi pendidikan, serta dimensi standar hidup layak. Menurut Badan Pusat Statistik (2019), pencapaian IPM antarwilayah dapat dikelompokkan ke dalam empat kategori, sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengelompokan IPM

IPM	Keterangan
$IPM < 60$	Rendah
$60 \leq IPM < 70$	Sedang
$70 \leq IPM < 80$	Tinggi
$IPM \geq 80$	Sangat Tinggi

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada semester ganjil tahun ajaran 2025/2026 di Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Beralamat di Jalan Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1, Gedong Meneng, Bandar Lampung.

3.2 Data Penelitian

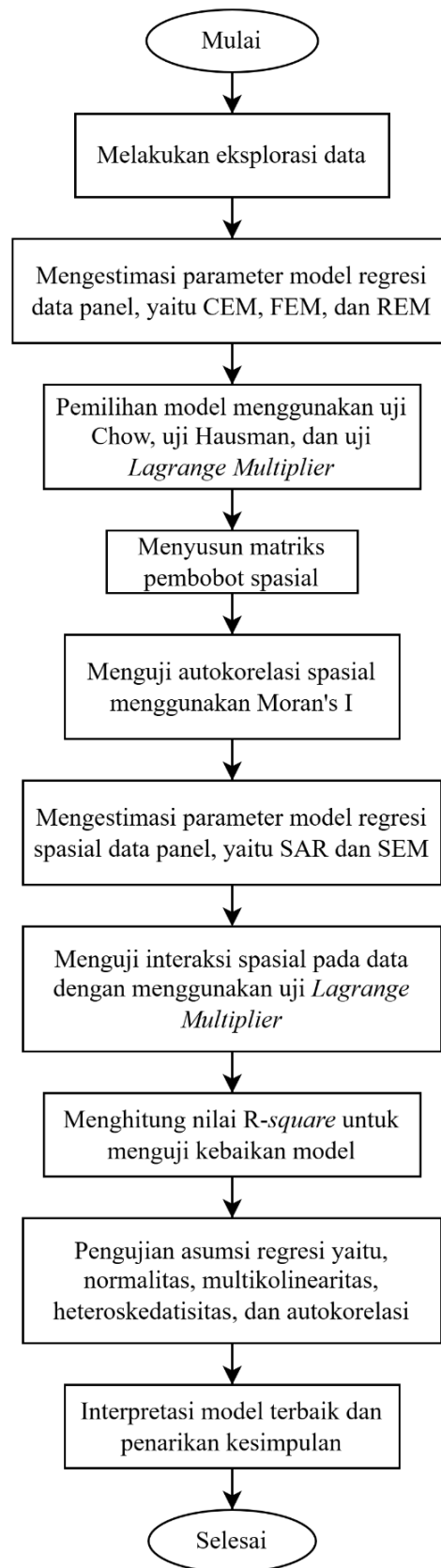
Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang didapat dari Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung (2025) pada laman <https://lampung.bps.go.id/id/publication/2025/02/28/44f961867578243b5023c32d/provinsi-lampung-dalam-angka-2025.html> yang disajikan pada Lampiran 1. Variabel respon (Y) yang digunakan pada penelitian ini adalah IPM. Sedangkan variabel prediktor (X) yang digunakan adalah sebanyak 5 variabel yaitu, kepadatan penduduk (X_1) dalam satuan jiwa/km², umur harapan hidup (X_2) dalam satuan tahun, rata lama sekolah (X_3) dalam satuan tahun, Pengeluaran Domestik Regional Bruto (PDRB) per kapita (X_4) dalam satuan rupiah, dan jumlah penduduk miskin (X_5) dalam satuan ribu/jiwa. Unit observasi yang digunakan adalah 15 kabupaten/kota di Provinsi Lampung pada tahun 2020-2024.

3.3 Metode Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Melakukan eksplorasi data dengan analisis deskriptif untuk melihat karakteristik data secara umum.
2. Melakukan analisis regresi data panel dengan mengestimasi parameter model, yaitu CEM, FEM, dan REM.
3. Melakukan pemilihan model regresi data panel yang terbaik dengan menggunakan tiga uji, yaitu.
 - a. Uji Chow, untuk memilih model terbaik antara CEM dan FEM.
 - b. Uji Hausman, untuk memilih model terbaik antara FEM dan REM.
 - c. Uji *Lagrange Multiplier*, untuk memilih model terbaik antara CEM dan REM.
4. Melakukan pengujian asumsi regresi, meliputi uji normalitas, multikolinearitas, heteroskedastisitas, dan autokorelasi.
5. Melakukan analisis regresi spasial data panel dengan menentukan matriks pembobot spasial.
6. Melakukan uji *Moran's I* untuk melihat adanya ketergantungan spasial antar wilayah.
7. Melakukan analisis regresi spasial data panel dengan mengestimasi parameter model, yaitu SAR dan SEM.
8. Melakukan pemilihan model regresi spasial data panel yang terbaik dengan menggunakan uji *Lagrange Multiplier* untuk menguji adanya interaksi spasial pada model, baik interaksi spasial pada *lag* maupun pada *error*.
9. Melakukan uji signifikansi parameter model dengan uji *t*.
10. Melakukan uji kebaikan model dengan menggunakan uji koefisien determinasi (R^2).
11. Menginterpretasikan model yang telah terbentuk untuk menarik kesimpulan terhadap hasil analisis.

Diagram alir dari analisis regresi spasial data panel disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Tahapan diagram alir analisis regresi spasial data panel.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Model regresi spasial data panel yang paling sesuai untuk memodelkan IPM kabupaten/kota di Provinsi Lampung pada tahun 2020–2024 adalah model SAR-RE. Persamaan model tersebut dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\hat{Y}_{it} = 18,74464 + 0,73625 \sum_{i=1}^{15} \sum_{j=1}^{15} W_{ij} y_{jt} + 0,20285 X_{1it} + 0,10524 X_{2it} \\ + 3,25188 X_{3it} + 0,24138 X_{4it} + 0,73860 X_{5it}.$$

2. Faktor-faktor yang menjelaskan nilai IPM kabupaten/kota di Provinsi Lampung adalah rata lama sekolah dan jumlah penduduk miskin. Kedua variabel tersebut mampu menjelaskan nilai IPM sebesar 91,72%, sedangkan 8,28% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain yang tidak dimasukkan dalam model penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiwinata, J. & Annisa S. 2024. Analisis Pengaruh Industri Mikro dan Kecil terhadap Pertumbuhan Ekonomi di Indonesia dengan Pendekatan Ekonometrika Regresi Spasial Data Panel. *Journal of Statistics and Its Application*. **3**(1) : 83-96.
- Anselin, L. 1999. *Spatial Econometrics*. University of Texas, Dallas.
- Badan Pusat Statistik. 2019. *Indeks Pembangunan Manusia 2019*. BPS, Jakarta.
- Badan Pusat Statistik. 2025. *Lampung dalam Angka 2025*. BPS, Lampung.
- Baltagi BH. 2008. *Econometric Analysis of Panel Data*. 4th Edition. John Wiley & Sons, New York.
- Elhorst, J. P., & Fréret, S. 2009. Evidence of Political Yardstick Competition in France Using a Two-Regime Spatial Durbin Model with Fixed Effects. *Journal of Regional Science*. **49**(5) : 931–951.
- Elhorst, J. P. 2021. *Spatial Econometrics: from Cross-Sectional Data to Spatial Panels*. Springer Texts in Business and Economics, Jerman.
- Elhorst, J. P., Piras, G., & Arbia, G. 2010. Growth and Convergence in a Multiregional Model with Space-Time Dynamics. *Geographical Analysis*. **42**(3) : 338-355.
- Febry, T., & Teofilus. 2020. *SPSS Aplikasi pada Penelitian Manajemen Bisnis*. Media Sains Indonesia, Bandung.
- Firdaus, M. 2021. *Ekonometrika Suatu Pendekatan Aplikatif* (Edisi Ketiga). Bumi Aksara, Jakarta.
- Greene, W. H. 2002. *Econometric Analysis*. 5th Edition. Prentice Hall, New Jersey.

- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. 2009. *Basic Econometrics*. 5th Edition. McGraw-Hill, New York.
- Hill, R. C., Griffiths, W. E., & Lim, G. C. 2011. *Principles of Econometrics*. 4th Edition. Wiley, United States of America.
- Hutagalung, I. P., & Darnius, O. 2022. Analisis Regresi Data Panel dengan Pendekatan Common Effect Model (CEM), Fixed Effect Model (FEM), dan Random Effect Model (REM) (Studi Kasus: IPM Sumatera Utara Periode 2014–2020). *FARABI: Jurnal Matematika dan Pendidikan Matematika*. **5**(2) : 217–226.
- Indrasetianingsih, A., & Wasik, T. K. 2020. Model Regresi Data Panel untuk Mengetahui Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Tingkat Kemiskinan di Pulau Madura. *Jurnal Gaussian*. **9**(3) : 355–363.
- Irwansyah, M., Ruliana, & Aidid, M. K. 2021. Analisis Regresi Balanced Panel dengan Komponen Galat Dua Arah pada Kasus Melek Huruf Masyarakat di Provinsi Nusa Tenggara Barat. *VARIANSI: Journal of Statistics and Its Application on Teaching and Research*. **3**(1) : 10–22.
- Jusmansyah, M. 2020. Analisis Pengaruh Current Ratio, Debt to Equity Ratio, Total Asset Turnover, dan Return on Equity terhadap Harga Saham. *Jurnal Ekonomika dan Manajemen*. **9**(2) : 179–198.
- LeSage, J. P. 1999. *The Theory and Practice of Spatial Econometrics*. University of Toledo, Ohio.
- LeSage, J. P., & Pace, R. K. 2009. *Introduction to Spatial Econometrics*. CRC Press/Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Lind, D. A., Marchal, W. G., & Wathen, S. A. 2007. *Teknik-teknik Statistika dalam Bisnis dan Ekonomi Menggunakan Kelompok Data Global*. Edisi ke-13 Buku 2. Salemba Empat, Jakarta.
- Lipschutz, S., & Lipson, M. L. 2006. *Teori dan Soal Aljabar Linear*. Edisi Ketiga. Erlangga, Jakarta.
- Murdani. 2022. Analisis Indeks Pembangunan Manusia (IPM) dengan Model Regresi Spasial Data Panel di Kabupaten/Kota Provinsi Kalimantan Timur Periode 2017–2020. *Jurnal Statistika dan Aplikasinya*. **6**(2) : 45–56.

- Mustafa, H. 2023. Pendekatan Spasial Panel Data pada Tingkat Pengangguran Terbuka di Provinsi Nusa Tenggara Timur Tahun 2020–2023. *Jurnal Statistika Terapan Indonesia (JSTAR)*. 7(1) : 15–27.
- Nabila, M., & Yotenka, N. 2021. Analisis Spasial Data Panel dalam Menentukan Faktor-Faktor yang Berpengaruh terhadap Jumlah Kasus Demam Berdarah Dengue (DBD). *Unisda Journal of Mathematics and Computer Science (UJMC)*. 2(1) : 45–55.
- Nandita, D. A., Alamsyah, L. B., Jati, E. P., & Widodo, E. 2019. Analisis Regresi Data Panel untuk Mengetahui Faktor-Faktor yang Mempengaruhi PDRB di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 2011–2015. *Indonesian Journal of Applied Statistics*. 2(1) : 42–52.
- Nimanuho, Y. K. M. 2020. *Pemodelan Faktor-Faktor Indeks Pembangunan Manusia dengan Spatial Durbin Model: Studi di Provinsi Jawa Tengah Periode 2011-2018* (Skripsi). Universitas Brawijaya, Malang.
- Pianda, D. 2018. *Kinerja Guru*. Jejak Publisher, Sukabumi.
- Pramesti, G. 2016. *Statistika Lengkap Secara Teori dan Aplikasi dengan SPSS 23*. Alex Media Komputindo, Jakarta.
- Prasetyo, R. A., & Helma. 2022. Analisis Regresi Linear Berganda untuk Melihat Faktor-Faktor yang Berpengaruh terhadap Kemiskinan di Provinsi Sumatera Barat. *Journal of Mathematics UNP*. 7(2) : 62–68.
- Purnomo, R. A. 2017. *Analisis Statistik Ekonomi dan Bisnis*. CV Wade Group, Ponorogo.
- Ramadhani, R., & Bina, N. S. 2021. *Statistika Penelitian Pendidikan: Analisis Perhitungan Matematis dan Aplikasi SPSS*. Kencana, Jakarta.
- Ramadhanti, E. N. 2019. *Analisis Regresi Panel Spasial pada Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH) Indonesia Tahun 2013-2016* (Skripsi). Universitas Brawijaya, Malang.
- Rino, A. S., Hadijati, M., & Switrayni, N. W. 2019. Analisis Masalah Heteroskedastisitas Menggunakan Generalized Least Squares dalam Analisis Regresi. *Eigen Mathematics Journal*. 2(2) : 61–72.
- Roflin, E., & Zulvia, F. E. 2021. *Kupas Tuntas Analisis Korelasi*. Nasya Expanding Management, Pekalongan.

- Side, S., Sukarna, & Nurfitriah, R. 2019. Analisis Regresi Panel pada Pemodelan Tingkat Kematian Bayi di Provinsi Sulawesi Selatan. *Journal of Mathematics, Computations and Statistics*. **2**(2) : 115–125.
- Sriyana, J. 2014. *Metode Regresi Data Panel*. Ekonisia, Yogyakarta.
- Tamara, I. D. A. 2016. Pemodelan Tingkat Kemiskinan di Kabupaten/Kota Jawa Tengah dengan Regresi Spasial Data Panel Tahun 2010–2013. *Jurnal Gaussian*. **5**(4) : 813–822.
- Tiro, M. A. 2000. *Analisis Korelasi dan Regresi*. Andira Publisher, Makassar.
- Trianggara, N., Rahmawati, R. & Yasin, H. 2016. Pemodelan Indeks Pembangunan Manusia Menggunakan Spatial Panel Fixed Effect (Studi Kasus: Indeks Pembangunan Manusia Provinsi Jawa Tengah 2008 - 2013). *Jurnal Gaussian*. **5**(1) : 173-182.
- Widarjono, A. 2005. *Ekonometrika: Teori dan Aplikasi untuk Ekonomi dan Bisnis*. Ekonisia, Yogyakarta.
- Widarjono, A. 2018. *Ekonometrika: Pengantar dan Aplikasinya*. UPP STIM YKPN, Yogyakarta.
- Wooldridge, J. M. 2020. *Introductory Econometrics: A Modern Approach*. 7th Edition. Cengage Learning, Boston.
- Wuryandari, T., Hoyyi, A., Kusumawardani, D. S., & Rahmawati, D. 2014. Identifikasi Autokorelasi Spasial pada Jumlah Pengangguran di Jawa Tengah Menggunakan Indeks Moran. *Media Statistika*. **7**(1) : 1–10.
- Yasin, A., Budi, C., & Danu, F. 2020. Bentuk Umum Model SARMA dalam Regresi Spasial Panel. *Jurnal Statistika Spasial*. **5**(2) : 123–135.
- Yulianti, S., Widyanigsih, Y., & Nurrohmah, S. 2021. Spatial Panel Data Model on Human Development Index at Central Java. *Journal of Physics: Conference Series*. **1722**(1) : 1742-6596.