

**PENERAPAN REGRESI *SPATIAL DURBIN ERROR MODEL*
PADA KASUS TUBERKULOSIS DI JAWA BARAT**

SKRIPSI

**OLEH
SAFIRA AULIA ADELINA
NIM. 220601110049**



**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
2026**

**PENERAPAN REGRESI *SPATIAL DURBIN ERROR MODEL*
PADA KASUS TUBERKULOSIS DI JAWA BARAT**

SKRIPSI

**Diajukan Kepada
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)**

**Oleh
Safira Aulia Adelina
NIM. 220601110049**

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
2026**

**PENERAPAN REGRESI *SPATIAL DURBIN ERROR MODEL*
PADA KASUS TUBERKULOSIS DI JAWA BARAT**

SKRIPSI

**Oleh
Safira Aulia Adelina
NIM. 220601110049**

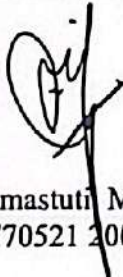
Telah Disetujui untuk Diuji

Malang, 4 Mei 2026

Dosen Pembimbing I


**Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si.
NIP. 19731014 200112 2 002**

Dosen Pembimbing II


**Ari Kusumastuti, M.Pd., M.Si.
NIP. 19770521 200501 2 004**

**Mengetahui,
Kepala Program Studi Matematika**



**Dr. Fachrudin Rozi, M.Si.
NIP. 19800527 200801 1 012**

PENERAPAN REGRESI *SPATIAL DURBIN ERROR MODEL* PADA KASUS TUBERKULOSIS DI JAWA BARAT

SKRIPSI

Oleh
Safira Aulia Adelina
NIM. 220601110049

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)

Tanggal 9 Juni 2026

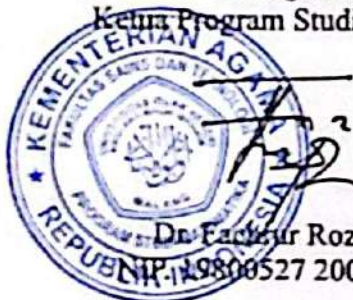
Ketua Penguji : Abdul Aziz, M.Si.

Anggota Penguji 1 : Dr. Fachrur Rozi, M.Si.

Anggota Penguji 2 : Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si.

Anggota Penguji 3 : Ari Kusumastuti, M.Pd., M.Si.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika



Dr. Fachrur Rozi, M.Si.
NIP. 19800527 200801 1 012

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Safira Aulia Adelina
NIM : 220601110049
Program Studi : Matematika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Skripsi : Penerapan Regresi *Spatial Durbin Error Model*
pada Kasus Tuberkulosis di Jawa Barat

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar rujukan. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 9 Juni 2026
Yang membuat pernyataan,



Safira Aulia Adelina
220601110049

MOTO

“Hard work is worthless for those that don't believe in themselves”

– Uzumaki Naruto

PERSEMBAHAN

Penulis mempersembahkan skripsi ini kepada:

Bapak dan Ibu penulis yang selalu mendukung, selalu mengerti,
selalu mendoakan dan selalu memberikan kasih sayang.

Kedua adik penulis yang selalu memberikan semangat dan
selalu menolong ketika dibutuhkan bantuan.

Sahabat dan teman penulis yang selalu menemani, selalu
mendukung dan selalu peduli terhadap penulis.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil ‘alamin, segala puji bagi Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Penerapan Regresi *Spatial Durbin Error Model* pada Kasus Tuberkulosis Di Jawa Barat.” Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyusun tugas akhir di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Selama proses penyusunan skripsi ini, penulis telah memperoleh banyak pengetahuan, pengalaman, bimbingan, dukungan, serta arahan dari berbagai pihak yang telah membantu hingga skripsi ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si., CHARM., CRMP selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Agus Mulyono, M.Kes., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Fachrur Rozi, M.Si., selaku Ketua Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang sekaligus Anggota Penguji I.
4. Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si., selaku Dosen Pembimbing I yang senantiasa memberikan berbagai pengetahuan, nasehat, motivasi, dan arahan selama proses penyusunan skripsi ini.
5. Ari Kusumastuti, M.Si., M.Pd., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan dan masukan yang sangat bermanfaat dalam penulisan skripsi ini.
6. Abdul Aziz, M.Si., selaku Ketua Penguji yang dengan penuh teliti dan sabar dalam menguji serta memberikan arahan dan masukan kepada penulis.
7. Seluruh dosen Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
8. Orang tua serta keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan penuh, nasihat, keteladanan, dan kasih sayang dalam setiap perjalanan penulis. Terima kasih atas cinta, pemahaman, dan doa yang selalu diberikan.

9. Sahabat-sahabat dan seluruh teman penulis yang telah memberikan dukungan moral, semangat, motivasi, dan kerja sama yang tak tergantikan. Kebersamaan dalam perjalanan selama masa kuliah telah memberikan keceriaan dan kekuatan dalam menghadapi setiap hambatan.
10. Kucing dan hamster kesayangan penulis, Adik Sumbul, Kupa, dan Ichibos, yang selalu menemani di setiap proses penulisan skripsi dengan tingkah lucunya yang menjadi penghibur di kala lelah.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang turut mendoakan, mendukung, dan meyakinkan penulis dalam menyelesaikan skripsi.

Malang, 9 Juni 2026

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTO	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xvii
مستخلص البحث.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	9
1.3 Tujuan Penelitian	10
1.4 Manfaat Penelitian	10
1.5 Batasan Masalah	11
1.6 Definisi Istilah	11
BAB II KAJIAN TEORI	13
2.1 Teori Pendukung	13
2.1.1 Regresi Spasial.....	13
2.1.2 Matriks Pembobot Spasial	14
2.1.3 Uji Autokorelasi Spasial	16
2.1.4 <i>Spatial Durbin Error Model</i>	17
2.1.5 Estimasi Parameter <i>Spatial Durbin Error Model</i>	18
2.1.6 Uji Signifikansi Parameter	25
2.1.7 Uji Asumsi Model	26
2.1.8 Uji Kebaikan Model.....	28
2.1.9 Tuberkulosis.....	29
2.2 Kajian Integrasi Topik dengan Al-Qur'an/Hadits.....	31
2.2.1 Pengertian Taqwa.....	31
2.2.2 Landasan Al-Qur'an dan Hadits tentang Taqwa	32
2.2.3 Syarat Tercapainya Taqwa	36
2.2.4 Tujuan dan Hikmah Taqwa	40
2.2.5 Pelaksanaan Taqwa dalam Kehidupan	44
2.3 Kajian Topik dengan Teori Pendukung.....	49
BAB III METODE PENELITIAN	52
3.1 Jenis Penelitian	52
3.2 Data dan Sumber Data	52
3.3 Variabel Penelitian	53

3.4 Tahapan Penelitian.....	54
3.5 Diagram Alir.....	56
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	58
4.1 Analisis Deskriptif.....	58
4.2 Matriks Pembobot Spasial.....	61
4.3 Uji Autokorelasi Spasial.....	65
4.4 Pemodelan <i>Spatial Durbin Error Model</i>	69
4.5 Uji Asumsi Model.....	74
4.6 Uji Kebaikan Model.....	77
BAB V PENUTUP.....	78
5.1 Kesimpulan.....	78
5.2 Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA.....	81
LAMPIRAN.....	85
RIWAYAT HIDUP.....	92

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Variabel Penelitian.....	53
Tabel 4.1 Analisis Deskriptif Variabel Penelitian.....	59
Tabel 4.2 Ketetanggan Wilayah di Provinsi Jawa Barat	63
Tabel 4.3 Bobot Antar Wilayah di Kab/Kota Jawa Barat.....	64
Tabel 4.4 Hasil Estimasi Parameter Model SDEM	70
Tabel 4.5 Hasil Uji Signifikansi Parameter SDEM.....	71
Tabel 4.6 Hasil Estimasi dan Uji Signifikansi Setelah <i>Looping</i>	72
Tabel 4.7 Hasil Uji Normalitas.....	75
Tabel 4.8 Hasil Uji Heterogenitas Spasial.....	75
Tabel 4.9 Hasil Uji Autokorelasi Spasial	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kerangka Berpikir	51
Gambar 3.1 Diagram Alir.....	57
Gambar 4.1 Peta Provinsi Jawa Barat.....	58
Gambar 4.2 Penyebaran TBC di Jawa Barat.....	60
Gambar 4.3 Peta Ketetanggaan Matriks Pembobot <i>Rook Contiguity</i>	62
Gambar 4.4 Perbandingan Data Aktual dengan Data Prediksi	77

DAFTAR SIMBOL

Y	: Vektor variabel dependen berukuran $n \times 1$,
X	: Matriks variabel independen berukuran $n \times k$,
β	: Vektor koefisien parameter regresi berukuran $k \times 1$,
ε	: Vektor <i>error</i> (gangguan acak) berukuran $n \times 1$,
ρ	: Koefisien <i>lag</i> spasial variabel dependen,
λ	: Koefisien <i>lag</i> spasial pada <i>error</i> ,
θ	: Vektor parameter <i>lag</i> spasial variabel independen,
W	: Matriks pembobot spasial berukuran $n \times n$,
I	: Matriks identitas berukuran $n \times n$,
u	: Vektor <i>error</i> spasial berukuran $n \times 1$,
Z	: Matriks gabungan [$\mathbf{1}_n \ X \ WX$],
δ	: Vektor parameter gabungan [$\alpha \ \beta \ \theta$],
α	: Parameter konstanta (intersep),
σ^2	: Varians dari <i>error</i> (ε),
$\mathbf{1}_n$	: Vektor satuan berukuran $n \times 1$,
x_i	: Nilai observasi ke- i ,
$\bar{x}$	: Rata-rata data,
s	: Simpangan baku,
w_{ij}	: Bobot spasial antara wilayah ke- i dan ke- j ,
$Adjusted R^2$	: Koefisien determinasi terkoreksi,
SSR	: Jumlah kuadrat selisih antara nilai aktual dan prediksi,
SST	: Jumlah kuadrat total dari selisih terhadap rata-rata,
c	: Konstanta dari fungsi <i>log-likelihood</i> ,
n	: Banyaknya observasi (jumlah wilayah),
k	: Banyaknya variabel independen.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Penelitian.....	85
Lampiran 2 Matriks Pembobot Tidak Terstandardisasi.....	86
Lampiran 3 Matriks Pembobot Terstandardisasi.....	87
Lampiran 4 Tabel Distribusi Normal Z	88
Lampiran 5 Tabel Nilai Kritis <i>Kolmogorov-Smirnov</i>	89
Lampiran 6 Tabel Distribusi <i>Chi-Square</i>	90
Lampiran 7 <i>Output</i> Menggunakan RStudio	91

ABSTRAK

Adelina, Safira Aulia. 2026. **Penerapan Regresi *Spatial Durbin Error Model* pada Kasus Tuberkulosis di Jawa Barat**. Skripsi. Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing (I) Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si. (II) Ari Kusumastuti, M.Pd., M.Si.

Kata Kunci: *Spatial Durbin Error Model*, Tuberkulosis, Matriks Pembobot *Rook Contiguity*, *Maximum Likelihood Estimation*, Regresi Spasial.

Regresi spasial merupakan pengembangan regresi linier klasik yang digunakan ketika terdapat pengaruh spasial antar wilayah pada data penelitian. *Spatial Durbin Error Model* (SDEM) adalah salah satu model regresi spasial yang mempertimbangkan *lag* spasial pada variabel independen serta ketergantungan spasial pada *error*. Model menggunakan matriks pembobot *rook contiguity* dan estimasi parameter dilakukan dengan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE). Tuberkulosis (TBC) merupakan salah satu masalah kesehatan di Provinsi Jawa Barat yang dipengaruhi oleh berbagai faktor sosial, ekonomi, dan kesehatan. Berdasarkan hasil pemodelan SDEM, faktor yang berpengaruh signifikan terhadap kasus TBC yaitu rasio jenis kelamin penduduk, penduduk miskin, sanitasi layak, tenaga kesehatan, dan penderita HIV/AIDS. Selain itu, terdapat pengaruh spasial signifikan dari wilayah tetangga, yaitu penduduk miskin, PHBS, dan balita gizi buruk. Berikut model SDEM dengan nilai *Adjusted R²* sebesar 93.68% dengan variabel yang berpengaruh signifikan terhadap TBC yaitu $x_1, x_2, x_3, x_5, x_7, lagx_2, lagx_4$ dan $lagx_6$.

$$y_i = -60.2107 + 0.6814x_{i1} - 0.3894x_{i2} - 0.0173x_{i3} + 0.2245x_{i5} + 0.4648x_{i7} + 0.4369 \sum_{j=1}^{27} w_{ij}x_{j2} - 0.0788 \sum_{j=1}^{27} w_{ij}x_{j4} - 0.3527 \sum_{j=1}^{27} w_{ij}x_{j6} - 1.1405 \sum_{j=1}^{27} w_{ij}u_j + \varepsilon_i.$$

ABSTRACT

Adelina, Safira Aulia. 2026. **Application of the Spatial Durbin Error Model Regression to Tuberculosis Cases in West Java**. Undergraduate Thesis. Mathematics Study Program, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisors: (I) Sri Harini, M.Si. (II) Ari Kusumastuti, M.Pd., M.Si.

Keywords: Spatial Durbin Error Model, Tuberculosis, Rook Contiguity Weight Matrix, Maximum Likelihood Estimation, Spatial Regression.

Spatial regression is an extension of classical linear regression used when spatial effects exist among regions in the research data. The Spatial Durbin Error Model (SDEM) is one type of spatial regression model that considers the spatial lag of independent variables as well as spatial dependence in the error term. The model uses a rook contiguity weight matrix, and parameter estimation is conducted using the Maximum Likelihood Estimation (MLE) method. Tuberculosis (TB) is one of the major health problems in West Java and is influenced by various social, economic, and health-related factors. Based on the SDEM modeling results, the factors that significantly affect TB cases are the population sex ratio, poor population, proper sanitation, health workers, and HIV/AIDS patients. In addition, there are significant spatial effects from neighboring regions, namely poor population, clean and healthy living behavior (PHBS), and malnourished toddlers. The resulting SDEM model has an Adjusted R^2 value of 93.68%, with significant variables affecting TB cases being $x_1, x_2, x_3, x_5, x_7, lagx_2, lagx_4,$ and $lagx_6$ is

$$y_i = -60.2107 + 0.6814x_{i1} - 0.3894x_{i2} - 0.0173x_{i3} + 0.2245x_{i5} + 0.4648x_{i7} + 0.4369 \sum_{j=1}^{27} w_{ij}x_{j2} - 0.0788 \sum_{j=1}^{27} w_{ij}x_{j4} - 0.3527 \sum_{j=1}^{27} w_{ij}x_{j6} - 1.1405 \sum_{j=1}^{27} w_{ij}u_j + \varepsilon_i.$$

مستخلص البحث

عدلين، سفير أوليا. ٢٠٢٦. تطبيق الانحدار نموذج الخطأ المكاني دورين (*SDEM*) على حالات السل في جاوى الغربية. البحث العلمي. قسم الرياضيات، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرفان: (١) أ.د. سري هارينى، الماجستير فى العلوم. (٢) آري كوسوماستوتي، الماجستير فى العلوم.

الكلمات الأساسية: نموذج الخطأ المكاني دورين، السل، مصفوفة الأوزان المجاورة من نوع روك، تقدير الإمكان الأعظم، الانحدار المكاني.

يُعدّ الانحدار المكاني امتدادًا للانحدار الخطي الكلاسيكي يُستخدم عند وجود تأثيرات مكانية بين المناطق في بيانات البحث. ويُعتبر نموذج الخطأ المكاني دورين (*SDEM*) أحد أنواع نماذج الانحدار المكاني التي تأخذ في الاعتبار الإبطاء المكاني للمتغيرات المستقلة وكذلك الاعتماد المكاني في حدّ الخطأ. يستخدم هذا النموذج مصفوفة أوزان مجاورة من نوع روك، ويتم تقدير المعلمات باستخدام طريقة تقدير الإمكان الأعظم (*MLE*) ويُعدّ مرض السل من المشكلات الصحية الرئيسية في جاوى الغربية، ويتأثر بعوامل اجتماعية واقتصادية وصحية متعددة. واستنادًا إلى نتائج نموذج *SDEM*، فإن العوامل التي تؤثر بشكل معنوي على حالات السل هي نسبة الجنس في السكان، والسكان الفقراء، والصرف الصحي الملائم، والعاملون الصحيون، ومرضى فيروس نقص المناعة البشرية/الإيدز. إضافة إلى ذلك، توجد تأثيرات مكانية معنوية من المناطق المجاورة تتمثل في السكان الفقراء، والسلوك المعيشي النظيف والصحي (*PHBS*)، والأطفال الصغار الذين يعانون من سوء التغذية. وقد نتج عن نموذج *SDEM* قيمة $Adjusted(R^2)$ بلغت ٩٣,٦٨٪، وكانت المتغيرات المعنوية المؤثرة في حالات السل هي ($lagx_6$) و ($x_1, x_2, x_3, x_5, x_7, lagx_2, lagx_4$).

$$y_i = -60.2107 + 0.6814x_{i1} - 0.3894x_{i2} - 0.0173x_{i3} + 0.2245x_{i5} + 0.4648x_{i7} + 0.4369 \sum_{j=1}^{27} w_{ij}x_{j2} - 0.0788 \sum_{j=1}^{27} w_{ij}x_{j4} - 0.3527 \sum_{j=1}^{27} w_{ij}x_{j6} - 1.1405 \sum_{j=1}^{27} w_{ij}u_j + \varepsilon_i.$$

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Statistika adalah cabang dari ilmu matematika yang fokus pada pengolahan data. Salah satu pendekatan yang digunakan dalam statistika untuk melihat hubungan antara variabel dependen dengan satu atau lebih variabel independen, sekaligus mengestimasi atau memprediksi rata-rata populasi maupun nilai rata-rata respon berdasarkan informasi variabel independen, ialah analisis regresi (Gujarati, 2003). Akan tetapi, analisis regresi konvensional tidak mempertimbangkan faktor kedekatan antarwilayah, sehingga diperlukan metode lain yang mampu memasukkan aspek spasial dalam analisisnya. Metode tersebut adalah regresi spasial, yang merupakan pengembangan dari regresi linear dengan memperhatikan peran lokasi sebagai bagian penting dalam pemodelan (Anselin, 1988).

Pemodelan spasial didefinisikan sebagai upaya untuk merumuskan hubungan antara variabel dependen dengan variabel independen sambil memperhatikan pengaruh antarwilayah. Karakteristik utama dari pemodelan ini ditunjukkan melalui keberadaan matriks pembobot yang merepresentasikan keterkaitan antara satu wilayah dengan wilayah lainnya. Proses dalam pemodelan spasial dilakukan dengan pendekatan autoregresif, di mana ketergantungan antar sejumlah lokasi atau pengamatan diperlihatkan secara eksplisit (LeSage & Pace, 2009).

Dalam regresi spasial dikenal dua model utama, yaitu *Spatial Autoregressive* (SAR) dan *Spatial Error Model* (SEM). Kemudian, Anselin (1988) memperkenalkan bentuk khusus dari model SAR dengan menambahkan pengaruh

lag spasial baik pada variabel dependen maupun variabel independen, yang disebut *Spatial Durbin Model* (SDM). Berbeda dari SAR murni, SDM memasukkan *lag* spasial pada kedua jenis variabel tersebut sehingga mampu menangkap pengaruh yang lebih luas dalam hubungan spasial.

Selain pengembangan dari SAR yang menghasilkan SDM, dalam literatur regresi spasial juga dikenal model lain, yaitu SEM. Berbeda dengan model yang memasukkan *lag* spasial pada variabel independen, SEM justru tidak melibatkan komponen tersebut sehingga estimasi parameter β masih dapat dipahami sama seperti regresi klasik. Model ini juga tidak menimbulkan adanya efek tidak langsung dari perubahan variabel independen, sebab dalam kerangka *least-square* variabel independen tetap diperlakukan sebagai variabel penjelas. Sebagai pengembangan dari model tersebut, LeSage & Pace (2009) memperkenalkan *Spatial Durbin Error Model* (SDEM) sebagai alternatif SEM. Berbeda dengan SEM murni, SDEM tidak memungkinkan adanya *lag* spasial pada variabel dependen, tetapi tetap mengakomodasi *error* spasial sekaligus *lag* spasial pada variabel independen. Keunggulan model ini terletak pada kemudahan interpretasi, di mana parameter β merepresentasikan dampak langsung, sedangkan parameter θ menangkap pengaruh tidak langsung. Model ini cocok digunakan ketika terdapat bukti bahwa variabel independen di suatu wilayah dipengaruhi oleh kondisi wilayah sekitar, sekaligus residualnya masih menyisakan pola spasial yang signifikan (LeSage & Pace, 2009).

Beberapa penelitian terkait pemodelan spasial telah dilakukan oleh Revildy dkk. (2020) yang menggunakan *Spatial Error Model* (SEM) untuk mengkaji prevalensi balita pendek (*stunting*) di tiap provinsi di Indonesia tahun 2018. Ervin

dkk. (2021) menggunakan *Spatial Durbin Error Model* (SDEM) untuk melakukan pemodelan pada data garis kemiskinan di Kalimantan. Sulasih dkk. (2021) menggunakan *Spatial Error Model* (SEM) untuk memodelkan kasus diare di Provinsi Bali. Kholifia dkk. (2021) menggunakan *Spatial Durbin Error Model* (SDEM) untuk menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) di Provinsi Jawa Timur. Zidni dkk. (2021) mengkaji faktor-faktor yang memengaruhi kriminalitas di Jawa Tengah menggunakan *Spatial Error Model* (SEM). Raspati dkk. (2024) menggunakan *Spatial Durbin Model* (SDM) untuk menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi persentase penduduk miskin di Kabupaten Cianjur tahun 2021. Reho dkk. (2024) memodelkan data IPM di Kalimantan Barat menggunakan *Spatial Durbin Error Model* (SDEM). Nasiti dkk. (2025) mengkaji faktor-faktor penentu prevalensi *stunting* di Nusa Tenggara Barat menggunakan *Spatial Durbin Model* (SDM). Mar & Nabila (2025) menggunakan *Spatial Error Model* (SEM) untuk menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi *stunting* balita di Indonesia.

Penelitian oleh Utami dkk. (2022) mengenai analisis *Spatial Error Model* pada Indeks Pembangunan Manusia (IPM) di Pulau Kalimantan menunjukkan bahwa penggunaan matriks pembobot *Rook Contiguity* menghasilkan model yang lebih baik dibandingkan *Queen Contiguity*, berdasarkan nilai *likelihood* dan kriteria AIC yang lebih optimal. Berdasarkan hasil tersebut, penelitian ini menggunakan matriks pembobot spasial tipe *Rook Contiguity*. Matriks ini menetapkan adanya hubungan antarwilayah apabila kedua wilayah memiliki batas sisi yang saling bersinggungan. Pemilihan tipe *Rook* dalam penelitian ini didasarkan pada temuan

sebelumnya yang menunjukkan bahwa tipe tersebut memberikan hasil pemodelan yang lebih unggul dibandingkan *Queen Contiguity*.

Penelitian lain dilakukan oleh Zebua & Jaya (2022) untuk memodelkan kasus tuberkulosis di Provinsi Jawa Tengah tahun 2019. Variabel yang digunakan meliputi sanitasi layak, fasilitas air minum layak, kepadatan penduduk, dan angka kesakitan, dengan variabel dependen berupa jumlah kasus TBC. Hasil uji Lagrange Multiplier (LM) menunjukkan bahwa ketergantungan spasial pada *lag* variabel dependen dan *error* keduanya signifikan, sehingga model berpotensi dikembangkan lebih lanjut. Berdasarkan temuan tersebut, peneliti tertarik untuk mengembangkan topik serupa pada kasus TBC namun menggunakan metode *Spatial Durbin Error Model* (SDEM) untuk menangkap pengaruh spasial secara lebih komprehensif.

Tuberkulosis (TBC) adalah penyakit menular yang disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis* yang terutama menyerang paru-paru, tetapi juga dapat menyebar ke organ lain seperti kelenjar getah bening, tulang, pleura, atau sistem saraf pusat (Arega dkk., 2020). Penyakit ini masih menjadi salah satu penyebab utama kematian akibat infeksi di dunia, khususnya di negara berkembang. Penularan TBC terjadi melalui udara ketika penderita batuk, bersin, atau berbicara, sehingga orang di sekitarnya dapat menghirup droplet yang mengandung bakteri (Kolloli dkk., 2024). Infeksi TBC bisa bersifat laten tanpa gejala, namun pada kondisi penurunan imunitas dapat berkembang menjadi TBC aktif dengan gejala seperti batuk kronis, demam, keringat malam, dan penurunan berat badan. Meskipun diagnosis TB paru relatif lebih mudah, TB ekstra-paru sering menjadi tantangan karena gejalanya tidak spesifik dan basil sulit terdeteksi (Arega dkk., 2020). Walau begitu, dalam penelitian Kolloli dkk. (2024) disebutkan bahwa TBC

tetap dapat disembuhkan melalui pengobatan jangka panjang dengan kombinasi obat anti-TB yang tepat.

Sebagai salah satu negara dengan beban penyakit menular yang tinggi, Indonesia juga menghadapi tantangan besar dalam pengendalian TBC. Indonesia merupakan negara dengan beban TBC tertinggi kedua di dunia pada tahun 2022, dengan estimasi kasus TBC meningkat dari 824.000 pada tahun 2021 menjadi 1.060.000 kasus pada tahun 2022 dan angka kematian mencapai 134.000. Berdasarkan data Sistem Informasi Tuberkulosis (SITB) Kemenkes, tercatat sebanyak 821.200 kasus TBC dilaporkan pada tahun 2023 dan dari jumlah tersebut, 722.863 kasus (sekitar 88 %) telah mendapatkan pengobatan (World Health Organization, 2024). Di Indonesia, Provinsi Jawa Barat tercatat sebagai wilayah dengan jumlah kasus tuberkulosis (TBC) paling tinggi, dengan jumlah mencapai 234.710 kasus di tahun 2024. Sementara itu, data resmi Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa jumlah penduduk Jawa Barat mencapai 50,759 juta jiwa pada pertengahan tahun 2025. Dengan jumlah penduduk yang besar dan variasi kepadatan antarwilayah, provinsi ini memiliki keragaman karakteristik demografis, sosial-ekonomi, dan infrastruktur kesehatan yang signifikan. Kondisi tersebut berpotensi memunculkan pola spasial pada distribusi kasus TBC, di mana wilayah berdekatan cenderung memiliki tingkat kasus yang mirip akibat kesamaan faktor lingkungan atau akses terhadap layanan kesehatan.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa berbagai faktor sosial, ekonomi, dan lingkungan berpengaruh terhadap peningkatan kasus tuberkulosis. Penelitian oleh Andayani (2020) menemukan bahwa jenis kelamin memengaruhi kejadian tuberkulosis paru, di mana kasus TBC lebih banyak ditemukan pada laki-

laki dibandingkan perempuan. Kemiskinan juga berkontribusi terhadap kerentanan terhadap TBC melalui akses terbatas terhadap gizi dan layanan kesehatan (Susanto Sipayung dkk., 2023). Faktor lingkungan seperti sanitasi yang tidak layak dan rendahnya praktik Perilaku Hidup Bersih dan Sehat (PHBS) turut memperbesar risiko penularan (Raharjo, 2021). Selain itu, ketersediaan tenaga kesehatan, kasus gizi buruk pada balita, serta prevalensi HIV/AIDS juga berhubungan dengan tingginya angka TBC (Sari dkk., 2023).

Dalam perspektif Islam, manusia diingatkan untuk mengambil pelajaran dari sejarah umat-umat terdahulu yang mendustakan para rasul. Kisah kehancuran mereka menjadi peringatan agar manusia senantiasa meningkatkan ketakwaan dan tidak mengulangi kesalahan yang sama. Hal ini ditegaskan dalam firman Allah pada QS. Yūṣuf ayat 109:

وَمَا أَرْسَلْنَا مِنْ قَبْلِكَ إِلَّا رِجَالًا نُوْحِيْ اِلَيْهِمْ مِّنْ اَهْلِ الْقُرَىٰ اَفَلَمْ يَسِيْرُوْا فِي الْاَرْضِ فَيَنْظُرُوْا كَيْفَ كَانَ عَاقِبَةُ الَّذِيْنَ مِنْ قَبْلِهِمْ وَلَدَارُ الْاٰخِرَةِ خَيْرٌ لِّلَّذِيْنَ اٰتَقَوْا اَفَلَا تَعْقِلُوْنَ ﴿١٠٩﴾

(Kementerian Agama, 2022)

“Kami tidak mengutus sebelum engkau (Nabi Muhammad), kecuali laki-laki yang Kami berikan wahyu kepada mereka di antara penduduk negeri. Tidakkah mereka berjalan di bumi lalu memperhatikan bagaimana kesudahan orang-orang sebelum mereka (yang mendustakan rasul)? Sesungguhnya negeri akhirat itu lebih baik bagi orang-orang yang bertakwa. Apakah kamu tidak mengerti?” (QS. Yūṣuf [12] : 109)

Menurut riwayat yang disebutkan dalam Tafsir Tahlili Kementerian Agama (2022), ayat ini diturunkan berkenaan dengan penolakan kaum Quraisy terhadap kerasulan Nabi Muhammad saw., karena mereka menganggap bahwa seorang rasul seharusnya berasal dari kalangan malaikat, bukan manusia. Kaum Quraisy berkata, sebagaimana dikisahkan dalam ayat lain:

“Mereka berkata, “Mengapa Rasul (Nabi Muhammad) ini memakan makanan dan berjalan di pasar-pasar? Mengapa malaikat tidak diturunkan

kepadanya (agar malaikat) itu memberikan peringatan bersama dia,” (QS. Al-Furqān [25]: 7).

Sebagai jawaban atas keraguan mereka, Allah menegaskan dalam QS. Yūsuf ayat 109 bahwa para rasul yang diutus sebelum Nabi Muhammad juga semuanya adalah laki-laki dari kalangan manusia, bukan malaikat. Mereka berasal dari penduduk kota (*ahl al-qurā*), bukan dari kalangan badui, karena penduduk kota dianggap lebih berpengalaman, berilmu, dan mampu memahami wahyu dengan baik (Kementerian Agama, 2022).

Dalam Kitab *Tafsir Jalalain*, kata نُوحِيَ menurut suatu qiraat dibaca يُوحَى, artinya yang diberikan wahyu kepada mereka. Para rasul itu berasal dari penduduk negeri atau kota-kota mereka sendiri, sebab penduduk kota lebih mengetahui, lebih santun, dan lebih berilmu dibandingkan dengan penduduk kampung yang terkenal dengan kekasaran dan kebodohnya (As-Suyuthi & Al-Mahalli, 2007).

Wahyu yang dimaksud pada ayat ini merupakan sokongan besar dari Allah kepada Nabi Muhammad saw. Sebagaimana rasul-rasul sebelumnya, mereka adalah laki-laki sejati, yaitu orang yang memiliki keberanian untuk bertanggung jawab, kesanggupan untuk menderita, dan ketabahan menghadapi tugas berat dalam menegakkan kehendak Ilahi di muka bumi. Mereka menghadapi kewajiban dengan tabah dan kuat, dan Allah tidak membiarkan mereka berjalan sendiri, melainkan selalu disokong dengan wahyu. Rasul-rasul itu berasal dari ahli negeri mereka sendiri, bukan orang asing yang datang dari tempat lain. Mereka berjuang mati-matian membangun kaumnya agar menuruti jalan yang benar, bahkan ketika diusir dari kampung halamannya, mereka tetap melanjutkan perjuangan (Hamka, 2001).

Selanjutnya Allah menegur penduduk Mekah dalam QS. Yūsuf [12] : 109:

“Tidakkah mereka berjalan di bumi lalu memperhatikan bagaimana kesudahan orang-orang sebelum mereka?”

Yaitu akibat perbuatan mereka yang mendustakan rasul-rasul mereka. Mereka dibinasakan dan negeri-negeri mereka dihancurkan, seperti kaum Nabi Hud, kaum Nabi Saleh, dan kaum Nabi Luth (Hamka, 2001). Pertanyaan ini ditujukan kepada orang-orang musyrik Quraisy yang mendustakan kenabian Muhammad saw. dan mengingkari ajaran yang dibawanya, agar mereka mengambil pelajaran dari nasib umat-umat terdahulu (Kementerian Agama, 2022).

Ketika kedurhakaan suatu kaum telah mencapai puncaknya, azab dan siksaan Allah pun datang. Karena itu, kaum Quraisy diperingatkan agar memperhatikan bekas-bekas kehancuran kaum terdahulu yang menolak rasul-rasul mereka, supaya mereka tidak mengulangi kesalahan yang sama (Hamka, 2001).

Selanjutnya Allah menegaskan dalam QS. Yūṣuf [12] : 109:

“Sesungguhnya negeri akhirat lebih baik bagi orang-orang yang bertakwa kepada Allah.”

Yakni surga Allah yang menjadi balasan bagi orang-orang yang beriman, beramal saleh, dan takut berbuat dosa serta kemusyrikan (As-Suyuthi & Al-Mahalli, 2007). Kesenangan yang diperoleh orang-orang beriman tidak hanya di dunia, tetapi juga di akhirat yang abadi, berbeda dengan kesenangan duniawi orang-orang kafir yang terbatas dan berakhir dengan kematian, lalu disusul dengan azab yang pedih (Kementerian Agama, 2022).

Ayat ini ditutup dengan firman-Nya:

“Maka tidakkah kalian memikirkannya?”

Atau dalam *qiraat* lain dibaca *ya ‘qilūna* yang berarti *“apakah mereka tidak memikirkannya?”* (As-Suyuthi & Al-Mahalli, 2007). Pertanyaan ini menjadi seruan

agar manusia menggunakan akalnya untuk merenungkan hakikat hidup di dunia yang hanya sementara, dan bahwa kebahagiaan sejati terletak pada kehidupan akhirat (Hamka, 2001).

Selain itu, karakteristik data TBC yang dipengaruhi oleh faktor demografis, sosial-ekonomi, dan lingkungan yang memiliki potensi pengaruh lintas-wilayah menunjukkan adanya kemungkinan *spillover effect* yang membuat perubahan pada satu wilayah berpotensi memengaruhi wilayah berbatasan. Pada saat yang sama, temuan penelitian sebelumnya juga mengindikasikan bahwa residual pada model kesehatan masyarakat sering kali masih menyisakan pola spasial yang tidak terobservasi, sehingga diperlukan model yang tidak hanya mampu mengakomodasi *lag* spasial pada variabel independen, tetapi juga struktur *error* spasial secara bersamaan. Berdasarkan latar belakang tersebut, peneliti tertarik untuk menerapkan regresi *Spatial Durbin Error Model* (SDEM) pada kasus tuberkulosis (TBC) di Jawa Barat.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana model regresi *Spatial Durbin Error Model* (SDEM) pada kasus tuberkulosis (TBC) di Jawa Barat?
2. Apa saja faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap kasus tuberkulosis (TBC) di Jawa Barat?
3. Bagaimana kebaikan model dari penerapan regresi *Spatial Durbin Error Model* (SDEM) pada kasus tuberkulosis (TBC) di Jawa Barat?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Membangun model regresi *Spatial Durbin Error Model* (SDEM) pada kasus tuberkulosis (TBC) di Jawa Barat.
2. Mendapatkan faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap kasus tuberkulosis (TBC) di Jawa Barat.
3. Menganalisis kebaikan model dari penerapan regresi *Spatial Durbin Error Model* (SDEM) pada kasus Tuberkulosis (TBC) di Jawa Barat.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penulis dapat mempelajari dan mengaplikasikan ilmu statistik khususnya bidang spasial yaitu regresi *Spatial Durbin Error Model* (SDEM) pada kasus di lingkungan sekitar.
2. Sebagai referensi tambahan bagi pembaca dalam mempelajari analisis regresi *Spatial Durbin Error Model* (SDEM) khususnya pada bidang kesehatan.
3. Memberikan informasi kepada pemerintah daerah atau dinas kesehatan mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi kasus tuberkulosis (TBC) di Jawa Barat, sehingga dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam merumuskan kebijakan pencegahan dan penanggulangan tuberkulosis (TBC).
4. Menjadi salah satu bentuk pemanfaatan data yang dipublikasikan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) serta memberikan gambaran mengenai penerapan metode statistika spasial dalam menganalisis permasalahan kesehatan di tingkat kabupaten/kota.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Matriks pembobot spasial yang digunakan adalah tipe *Rook Contiguity*.
2. Data yang digunakan merupakan data *cross section* periode 2024 karena fokus pada variasi antarwilayah.
3. Estimasi parameter yang digunakan adalah *Maximum Likelihood Estimation* dengan iterasi Newton-Raphson.
4. Kebaikan model diukur menggunakan *Adjusted R²*.

1.6 Definisi Istilah

Analisis Spasial : Metode analisis statistik yang mempertimbangkan lokasi dan hubungan antarwilayah untuk mengetahui adanya pola atau pengaruh geografis di dalam data.

Autokorelasi Spasial : Keterkaitan antarwilayah, di mana nilai suatu variabel di satu daerah dipengaruhi oleh nilai variabel yang sama di daerah sekitarnya.

Spatial Dependence : Kondisi ketika observasi di suatu wilayah tidak bersifat independen, melainkan dipengaruhi oleh observasi di wilayah lain.

Spatial Heterogeneity : Perbedaan karakteristik antarwilayah yang menyebabkan hubungan antar variabel tidak seragam di seluruh area penelitian.

- Spatial Weight Matrix* : Matriks yang digunakan untuk menggambarkan kedekatan antarwilayah berdasarkan jarak atau batas administratif, dan menjadi dasar perhitungan pengaruh spasial.
- Spatial Durbin Error Model (SDEM)* : Model regresi spasial yang memperhitungkan efek tidak langsung dari variabel independen wilayah tetangga serta adanya autokorelasi pada komponen *error*.
- Lag Spasial* : Bentuk keterlambatan spasial yang menunjukkan pengaruh nilai suatu variabel di wilayah tetangga terhadap nilai variabel di wilayah yang diamati.
- Spillover Effect* : Dampak yang muncul di suatu wilayah akibat pengaruh dari kebijakan atau kondisi ekonomi di wilayah lain yang berdekatan.
- Maximum Likelihood Estimation (MLE)* : Metode estimasi parameter dalam model spasial untuk memperoleh hasil yang paling mungkin sesuai dengan data yang diamati.
- Efek Tidak Langsung : Pengaruh suatu variabel dari satu wilayah terhadap wilayah lain melalui hubungan spasial, berbeda dengan efek langsung yang hanya terjadi dalam wilayah itu sendiri.
- (Indirect Effect)*

BAB II

KAJIAN TEORI

2.1 Teori Pendukung

2.1.1 Regresi Spasial

Regresi spasial adalah perluasan dari regresi konvensional yang memasukkan ketergantungan spasial melalui *lag* spasial, sehingga hasil di suatu lokasi dipengaruhi oleh hasil di lokasi sekitarnya (LeSage & Pace, 2009). Menurut Anselin (1988), bentuk umum regresi spasial adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Y &= \alpha \mathbf{1}_n + \rho WY + X\beta + u \\
 u &= \lambda Wu + \varepsilon \\
 \varepsilon &\sim N(\mathbf{0}, \sigma_\varepsilon^2 I_n)
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

dengan

- Y : Vektor variabel dependen berukuran $n \times 1$,
- ρ : Koefisien parameter *lag* spasial dari variabel dependen berukuran $n \times n$,
- $\mathbf{1}_n$: Vektor satuan berukuran $n \times 1$,
- W : Matriks pembobot spasial berukuran $n \times n$,
- X : Matriks variabel independen berukuran $n \times k$,
- β : Vektor koefisien parameter regresi berukuran $k \times 1$,
- α : Parameter konstanta,
- λ : Koefisien parameter *spatial error*,
- u : Vektor *error* spasial berukuran $n \times 1$,
- ε : Vektor *error* berukuran $n \times 1$.

$$\begin{aligned}
 \mathbf{Y} &= \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, \mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1k} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nk} \end{bmatrix}, \mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{n1} & w_{n2} & \cdots & w_{nn} \end{bmatrix}, \\
 \boldsymbol{\beta} &= \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}, \boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

Menurut Anselin dalam Yasin dkk. (2020), dari Persamaan (2.1) dapat dibentuk menjadi beberapa model lain sebagai berikut.

Jika $\rho = 0$ dan $\lambda = 0$ maka disebut model regresi linier klasik dengan bentuk

$$\mathbf{Y} = \alpha \mathbf{1}_n + \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \tag{2.3}$$

Jika $\rho = 0$ dan $\lambda \neq 0$ maka disebut model regresi *Spatial Error Model* (SEM) dengan bentuk

$$\begin{aligned}
 \mathbf{Y} &= \alpha \mathbf{1}_n + \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{u} \\
 \mathbf{u} &= \lambda \mathbf{W}\mathbf{u} + \boldsymbol{\varepsilon}
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

Jika $\rho \neq 0$ dan $\lambda = 0$ maka disebut model regresi *Spatial Autoregressive Model* (SAR) dengan bentuk

$$\mathbf{Y} = \alpha \mathbf{1}_n + \rho \mathbf{W}\mathbf{Y} + \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \tag{2.5}$$

Jika $\rho \neq 0$ dan $\lambda \neq 0$ serta terdapat pengaruh spasial pada variabel independen, maka disebut model regresi *Spatial Durbin Model* (SDM) dengan bentuk

$$\mathbf{Y} = \alpha \mathbf{1}_n + \rho \mathbf{W}\mathbf{Y} + \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{W}\mathbf{X}\boldsymbol{\theta} + \boldsymbol{\varepsilon} \tag{2.6}$$

2.1.2 Matriks Pembobot Spasial

Matriks pembobot spasial (disimbolkan dengan $\mathbf{W}$) merupakan matriks berukuran $n \times n$ yang bernilai tak negatif dan merepresentasikan kedekatan atau hubungan antar wilayah berdasarkan letak geografisnya. Matriks ini berperan

penting dalam analisis spasial karena menunjukkan adanya ketergantungan antar lokasi dalam data (Arif dkk., 2019).

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{n1} & w_{n2} & \cdots & w_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Matriks pembobot spasial dapat dibentuk berdasarkan informasi ketersinggungan antarwilayah maupun jarak ketetanggaan (*neighborhood*), yaitu jarak antara satu wilayah (*region*) dengan wilayah lainnya. Menurut Lesage (1999), terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk mendefinisikan hubungan ketersinggungan (*contiguity*) tersebut.

1. *Queen Contiguity*

Mendefinisikan $w_{ij} = 1$ untuk *entity* yang bersisian (*common side*) atau titik sudutnya (*common vertex*) bertemu dengan *region* yang menjadi perhatian, $w_{ij} = 0$ untuk *region* lainnya.

2. *Rook Contiguity*

Mendefinisikan $w_{ij} = 1$ untuk *region* yang bersisian (*common side*) dengan *region* yang menjadi perhatian, $w_{ij} = 0$ untuk *region* lainnya.

3. *Bishop Contiguity*

Mendefinisikan $w_{ij} = 1$ untuk *region* yang titik sudutnya (*common vertex*) bertemu dengan *region* yang menjadi perhatian, $w_{ij} = 0$ untuk *region* lainnya.

Kosfeld dalam Yasin dkk. (2020) menjelaskan bahwa terdapat dua jenis matriks pembobot spasial, yaitu matriks pembobot terstandarisasi (*standardized*

contiguity matrix, $\mathbf{W}$) dan matriks pembobot tak terstandarisasi (*unstandardized contiguity matrix*, $\mathbf{W}^*$). Matriks pembobot terstandarisasi dibentuk dengan menetapkan bobot yang sama untuk setiap wilayah yang berbatasan langsung, sedangkan wilayah lain diberi bobot nol. Sebaliknya, matriks pembobot tak terstandarisasi diperoleh dengan memberikan bobot satu pada setiap lokasi yang berdekatan dan nol untuk lokasi yang tidak memiliki kedekatan spasial.

2.1.3 Uji Autokorelasi Spasial

Autokorelasi spasial terjadi ketika terdapat hubungan antar data pada wilayah atau lokasi yang berdekatan. Analisis terhadap ketergantungan ini dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik serta tipe data yang digunakan, sehingga hasilnya dapat menjadi dasar pembentukan model dalam regresi spasial. Menurut Anselin (1988), untuk mendeteksi adanya autokorelasi spasial diperlukan pengujian menggunakan Indeks Moran. Adapun hipotesisnya adalah sebagai berikut (Yasin dkk., 2020).

H_0 : Tidak terdapat autokorelasi spasial

H_1 : Terdapat autokorelasi spasial

Statistik uji:

$$Z_{hitung} = \frac{I - E(I)}{\sqrt{Var(I)}} \quad (2.8)$$

dengan

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.9)$$

Pada persamaan ekspektasi Indeks Moran, rumus perhitungannya yaitu

$$E(I) = I_0 = -\frac{1}{n-1} \quad (2.10)$$

Sedangkan variansnya adalah

$$Var(I) = \frac{n^2 \left(\frac{1}{2} \sum_{i \neq j}^n (w_{ij} + w_{ji})^2 \right) - n \left(\sum_{i \neq j}^n (\sum_{i=1}^n w_{ij} + \sum_{j=1}^n w_{ji})^2 \right) + 3 \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \right)^2}{(n^2 - 1) \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \right)^2} - [E(I)]^2 \quad (2.11)$$

dengan

x_i : Data ke- i ($i = 1, 2, \dots, n$),

w_{ij} : Bobot wilayah baris ke- i dan kolom ke- j ,

$\bar{x}$: Rata-rata data.

Pengambilan keputusan adalah tolak H_0 jika $|Z_{hitung}| > Z_{\frac{\alpha}{2}}$ atau nilai p – $value < \alpha$.

2.1.4 Spatial Durbin Error Model

Spatial Durbin Error Model (SDEM) sebagai salah satu alternatif untuk model *Spatial Error Model* (SEM) yang diperkenalkan oleh LeSage & Pace (2009). SEM terjadi jika $\rho = 0$, dalam hal ini model regresi berubah menjadi *spatial autoregressive* dalam *error* seperti persamaan berikut.

$$\begin{aligned} Y &= X\beta + u \\ u &= \lambda Wu + \varepsilon \end{aligned} \quad (2.12)$$

Kemudian LeSage & Pace (2009) mengenalkan *Spatial Durbin Error Model* (SDEM) dengan adanya penambahan *lag* spasial pada variabel independen, sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Y &= \alpha \mathbf{1}_n + X\beta + WX\theta + u \\ u &= \lambda Wu + \varepsilon \end{aligned} \quad (2.13)$$

Atau bisa dituliskan menjadi

$$\begin{aligned}
Y &= Z\delta + u \\
u &= \lambda Wu + \varepsilon
\end{aligned}
\tag{2.14}$$

dengan $Z = [\mathbf{1}_n \quad X \quad WX]$ berukuran $n \times (2k + 1)$ dan $\delta = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \theta \end{bmatrix}$ berukuran $(2k + 1) \times 1$,

- Y : Vektor variabel dependen berukuran $n \times 1$,
- X : Matriks variabel independen berukuran $n \times k$,
- λ : Koefisien *lag* spasial *error*,
- α : Parameter konstanta,
- β : Vektor koefisien parameter regresi berukuran $k \times 1$,
- θ : Vektor parameter *lag* spasial variabel independen berukuran $k \times 1$,
- W : Matriks pembobot spasial berukuran $n \times n$,
- u : Vektor *error* spasial berukuran $n \times 1$.

2.1.5 Estimasi Parameter *Spatial Durbin Error Model*

Metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) digunakan untuk mengestimasi parameter SDEM. Persamaan (2.14) dapat diselesaikan hingga didapat u (Anselin, 1988).

$$\begin{aligned}
u &= \lambda Wu + \varepsilon \\
u - \lambda Wu &= \varepsilon \\
(I - \lambda W)u &= \varepsilon \\
u &= (I - \lambda W)^{-1}\varepsilon
\end{aligned}
\tag{2.15}$$

Sehingga dari Persamaan (2.14) diperoleh model SDEM adalah

$$Y = Z\delta + (I - \lambda W)^{-1}\varepsilon \tag{2.16}$$

Dari Persamaan (2.16) dibentuk fungsi *likelihood* menggunakan *error*.

$$\begin{aligned}
 Y &= Z\delta + (I - \lambda W)^{-1}\varepsilon \\
 (I - \lambda W)Y &= (I - \lambda W)Z\delta + (I - \lambda W)(I - \lambda W)^{-1}\varepsilon \\
 (I - \lambda W)Y &= (I - \lambda W)Z\delta + \varepsilon \\
 \varepsilon &= (I - \lambda W)Y - (I - \lambda W)Z\delta \\
 \varepsilon &= (I - \lambda W)(Y - Z\delta)
 \end{aligned} \tag{2.17}$$

Fungsi kepadatan peluang ε_i yaitu

$$f(\varepsilon_i|\sigma^2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\varepsilon_i^2}{2\sigma^2}} \tag{2.18}$$

Sehingga diperoleh fungsi *likelihood* dari ε adalah (Anselin, 1988)

$$\begin{aligned}
 L(\sigma^2|\varepsilon) &= \prod_{i=1}^n f(\varepsilon_i|\sigma^2) \\
 &= \prod_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{\varepsilon_i^2}{2\sigma^2}} \\
 &= \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{\varepsilon_1^2}{2\sigma^2}} \right) \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{\varepsilon_2^2}{2\sigma^2}} \right) \dots \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{\varepsilon_n^2}{2\sigma^2}} \right) \\
 &= \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{\frac{n}{2}}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \dots + \varepsilon_n^2)} \\
 &= \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{\frac{n}{2}}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2} \\
 &= \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{\frac{n}{2}}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \dots + \varepsilon_n^2)} \\
 &= \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{\frac{n}{2}}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(\varepsilon_1\varepsilon_1 + \varepsilon_2\varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_n\varepsilon_n)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{\frac{n}{2}}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \begin{bmatrix} \varepsilon_1 & \varepsilon_2 & \cdots & \varepsilon_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}} \\
&= (2\pi\sigma^2)^{-\frac{n}{2}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\varepsilon}}
\end{aligned} \tag{2.19}$$

Karena variabel yang diamati dalam model adalah $\mathbf{Y}$, sedangkan fungsi *likelihood* pada Persamaan (2.19) masih dinyatakan dalam bentuk $\boldsymbol{\varepsilon}$, maka dilakukan transformasi dari $\boldsymbol{\varepsilon}$ ke $\mathbf{Y}$. Berdasarkan teori transformasi peubah multivariat, fungsi kepadatan $\mathbf{Y}$ diperoleh dengan mengalikan fungsi kepadatan $\boldsymbol{\varepsilon}$ dengan nilai determinan Jacobian dari transformasi tersebut. Jacobian diperoleh dari turunan parsial $\boldsymbol{\varepsilon}$ terhadap $\mathbf{Y}$. Oleh karena itu, dari Persamaan (2.17) diperoleh determinan Jacobian sebagai berikut (Anselin, 1988).

$$J = \left| \frac{\partial \boldsymbol{\varepsilon}}{\partial \mathbf{Y}} \right| = \left| \frac{\partial ((\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta}))}{\partial \mathbf{Y}} \right| = |\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W}| \tag{2.20}$$

Selanjutnya, dengan mensubstitusikan Persamaan (2.18) dan hasil pada Persamaan (2.20) ke dalam Persamaan (2.19), diperoleh fungsi *likelihood* untuk $\mathbf{Y}$ sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
L(\lambda, \boldsymbol{\delta}, \sigma^2 | \mathbf{Y}) &= (2\pi\sigma^2)^{-\frac{n}{2}} (J) e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\varepsilon}} \\
L(\lambda, \boldsymbol{\delta}, \sigma^2 | \mathbf{Y}) &= (2\pi\sigma^2)^{-\frac{n}{2}} |\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W}| e^{-\frac{1}{2\sigma^2} [(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta})]^T [(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta})]}
\end{aligned} \tag{2.21}$$

Selanjutnya dilakukan operasi logaritma natural pada Persamaan (2.21).

$$\begin{aligned}
\ln(L(\lambda, \boldsymbol{\delta}, \sigma^2 | \mathbf{Y})) &= \ln \left((2\pi\sigma^2)^{-\frac{n}{2}} |\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W}| e^{-\frac{1}{2\sigma^2} [(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta})]^T [(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta})]} \right) \\
&= -\frac{n}{2} \ln(2\pi) - \frac{n}{2} \ln \sigma^2 + \ln |\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W}| - \frac{1}{2\sigma^2} [(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta})]^T [(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta})] \\
&= c - \frac{n}{2} \ln \sigma^2 + \ln |\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W}| - \frac{1}{2\sigma^2} [(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta})]^T [(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta})]
\end{aligned} \tag{2.22}$$

dengan $c = -\frac{n}{2} \ln(2\pi)$.

Estimasi parameter model dilakukan dengan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE). Namun, parameter λ pada Persamaan (2.22) muncul secara nonlinier di dalam determinan $|\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W}|$ sehingga tidak dapat diperoleh solusi tertutup (*closed-form solution*). Oleh karena itu, diperlukan nilai awal parameter $\boldsymbol{\delta}$ untuk membentuk residual yang akan digunakan dalam proses estimasi λ . Nilai awal parameter $\boldsymbol{\delta}$ diperoleh menggunakan metode OLS (*Ordinary Least Squares*) dengan fungsi jumlah kuadrat residual dinyatakan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 S(\boldsymbol{\delta}|\mathbf{Y}) &= (\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta})^T(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta}) \\
 &= (\mathbf{Y}^T - \boldsymbol{\delta}^T \mathbf{Z}^T)(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta}) \\
 &= \mathbf{Y}^T \mathbf{Y} - \mathbf{Y}^T \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta} - \boldsymbol{\delta}^T \mathbf{Z}^T \mathbf{Y} + \boldsymbol{\delta}^T \mathbf{Z}^T \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta} \\
 &= \mathbf{Y}^T \mathbf{Y} - \mathbf{Y}^T \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta} - (\boldsymbol{\delta}^T \mathbf{Z}^T \mathbf{Y})^T + \boldsymbol{\delta}^T \mathbf{Z}^T \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta} \\
 &= \mathbf{Y}^T \mathbf{Y} - \mathbf{Y}^T \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta} - \mathbf{Y}^T \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta} + \boldsymbol{\delta}^T \mathbf{Z}^T \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta} \\
 &= \mathbf{Y}^T \mathbf{Y} - 2\mathbf{Y}^T \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta} + \boldsymbol{\delta}^T \mathbf{Z}^T \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta}
 \end{aligned} \tag{2.23}$$

Estimasi parameter $\boldsymbol{\delta}_{OLS}$ diperoleh dengan meminimumkan fungsi Persamaan (2.23) dengan menurunkan terhadap $\boldsymbol{\delta}$ dan disamakan dengan nol.

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial S(\boldsymbol{\delta}|\mathbf{Y})}{\partial \boldsymbol{\delta}} &= \mathbf{0} \\
 \frac{\partial \mathbf{Y}^T \mathbf{Y} - 2\mathbf{Y}^T \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta} + \boldsymbol{\delta}^T \mathbf{Z}^T \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta}}{\partial \boldsymbol{\delta}} &= \mathbf{0} \\
 -2\mathbf{Y}^T \mathbf{Z} + 2\boldsymbol{\delta}^T \mathbf{Z}^T \mathbf{Z} &= \mathbf{0} \\
 (-2\mathbf{Y}^T \mathbf{Z} + 2\boldsymbol{\delta}^T \mathbf{Z}^T \mathbf{Z})^T &= \mathbf{0} \\
 (-2\mathbf{Y}^T \mathbf{Z})^T + (2\boldsymbol{\delta}^T \mathbf{Z}^T \mathbf{Z})^T &= \mathbf{0} \\
 -2\mathbf{Z}^T \mathbf{Y} + 2\mathbf{Z}^T \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta} &= \mathbf{0} \\
 2\mathbf{Z}^T \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta} &= 2\mathbf{Z}^T \mathbf{Y}
 \end{aligned}$$

$$\mathbf{Z}^T \mathbf{Z} \boldsymbol{\delta} = \mathbf{Z}^T \mathbf{Y}$$

$$\boldsymbol{\delta} = (\mathbf{Z}^T \mathbf{Z})^{-1} \mathbf{Z}^T \mathbf{Y}$$

Maka, hasil estimasi parameter dari $\boldsymbol{\delta}_{OLS}$ yaitu

$$\hat{\boldsymbol{\delta}}_{OLS} = (\mathbf{Z}^T \mathbf{Z})^{-1} \mathbf{Z}^T \mathbf{Y} \quad (2.24)$$

Berdasarkan Persamaan (2.24), residual awal dihitung sebagai

$$\mathbf{e} = \mathbf{Y} - \mathbf{Z} \hat{\boldsymbol{\delta}}_{OLS} \quad (2.25)$$

Persamaan (2.25) kemudian disubstitusikan ke Persamaan (2.22) menjadi

$$\ln(L(\lambda, \boldsymbol{\delta}, \sigma^2 | \mathbf{Y})) = c - \frac{n}{2} \ln \sigma^2 + \ln |\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W}| - \frac{1}{2\sigma^2} [(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})\mathbf{e}]^T [(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})\mathbf{e}] \quad (2.26)$$

Karena parameter λ masih muncul dalam bentuk nonlinier, estimasinya dilakukan secara numerik menggunakan metode Newton-Raphson. Metode ini memerlukan turunan pertama dan turunan kedua fungsi *log-likelihood* terhadap λ . Turunan pertama dari Persamaan (2.26) terhadap parameter λ diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln L(\lambda, \boldsymbol{\delta}, \sigma^2 | \mathbf{Y})}{\partial \lambda} &= \frac{\partial \left(c - \frac{n}{2} \ln \sigma^2 + \ln |\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W}| - \frac{1}{2\sigma^2} [(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})\mathbf{e}]^T [(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})\mathbf{e}] \right)}{\partial \lambda} \\ &= \text{tr} \left((\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^{-1} \frac{\partial (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})}{\partial \lambda} \right) - \frac{1}{2\sigma^2} \left(\frac{\partial [\mathbf{e}^T (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^T] [(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})\mathbf{e}]}{\partial \lambda} \right) \\ &= \text{tr} \left((\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^{-1} (-\mathbf{W}) \right) - \frac{1}{2\sigma^2} \left(\mathbf{e}^T \left[\frac{\partial (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^T (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})}{\partial \lambda} \right] \mathbf{e} \right) \\ &= \text{tr} \left((\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^{-1} (-\mathbf{W}) \right) - \frac{1}{2\sigma^2} \left(\mathbf{e}^T \left[\frac{\partial (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^T}{\partial \lambda} (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W}) + (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^T \frac{\partial (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})}{\partial \lambda} \right] \mathbf{e} \right) \\ &= \text{tr} \left((\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^{-1} (-\mathbf{W}) \right) - \frac{1}{2\sigma^2} \left(\mathbf{e}^T [-\mathbf{W}^T (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W}) + (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^T (-\mathbf{W})] \mathbf{e} \right) \\ &= \text{tr} \left((\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^{-1} (-\mathbf{W}) \right) - \frac{1}{2\sigma^2} \left(-\mathbf{e}^T \mathbf{W}^T (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W}) \mathbf{e} - \mathbf{e}^T (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^T (\mathbf{W}) \mathbf{e} \right) \\ &= \text{tr} \left((\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^{-1} (-\mathbf{W}) \right) + \frac{1}{2\sigma^2} \left(\mathbf{e}^T \mathbf{W}^T (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W}) \mathbf{e} + \mathbf{e}^T (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^T (\mathbf{W}) \mathbf{e} \right) \end{aligned} \quad (2.27)$$

Selanjutnya, turunan kedua dari Persamaan (2.26) terhadap parameter λ diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
\frac{\partial^2 \ln L((\lambda, \boldsymbol{\delta}, \sigma^2 | \mathbf{Y}))}{\partial \lambda^2} &= \frac{\partial \left(\text{tr}((\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^{-1}(-\mathbf{W})) + \frac{1}{2\sigma^2} (\mathbf{e}^T \mathbf{W}^T (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W}) \mathbf{e} + \mathbf{e}^T (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^T (\mathbf{W}) \mathbf{e}) \right)}{\partial \lambda} \\
&= \frac{\text{tr}(\partial(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^{-1}(-\mathbf{W}))}{\partial \lambda} + \frac{\partial \left(\frac{1}{2\sigma^2} (\mathbf{e}^T \mathbf{W}^T (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W}) \mathbf{e} + \mathbf{e}^T (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^T (\mathbf{W}) \mathbf{e}) \right)}{\partial \lambda} \\
&= \text{tr} \left(-(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^{-1} \frac{\partial(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})}{\partial \lambda} (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^{-1}(-\mathbf{W}) \right) + \frac{1}{2\sigma^2} \left(\mathbf{e}^T \mathbf{W}^T \frac{\partial(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})}{\partial \lambda} \mathbf{e} + \mathbf{e}^T \frac{\partial(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^T}{\partial \lambda} (\mathbf{W}) \mathbf{e} \right) \\
&= \text{tr}(-(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^{-1} \mathbf{W} (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^{-1}(-\mathbf{W})) + \frac{1}{2\sigma^2} (\mathbf{e}^T \mathbf{W}^T (-\mathbf{W}) \mathbf{e} + \mathbf{e}^T (-\mathbf{W})^T \mathbf{W} \mathbf{e}) \\
&= \text{tr}((\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^{-1} \mathbf{W} (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^{-1} \mathbf{W}) - \frac{1}{2\sigma^2} (\mathbf{e}^T \mathbf{W}^T \mathbf{W} \mathbf{e} + \mathbf{e}^T \mathbf{W}^T \mathbf{W} \mathbf{e}) \\
&= \text{tr}((\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^{-1} \mathbf{W} (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^{-1} \mathbf{W}) - \frac{1}{2\sigma^2} (2\mathbf{e}^T \mathbf{W}^T \mathbf{W} \mathbf{e}) \\
&= \text{tr}((\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^{-1} \mathbf{W} (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^{-1} \mathbf{W}) - \frac{1}{\sigma^2} (\mathbf{e}^T \mathbf{W}^T \mathbf{W} \mathbf{e}) \tag{2.28}
\end{aligned}$$

Berdasarkan metode Newton-Raphson, estimasi parameter λ pada iterasi ke- $(t + 1)$ diperoleh melalui Persamaan (2.29).

$$\lambda^{(t+1)} = \lambda^{(t)} - \left[\frac{\partial^2 \ln L((\lambda, \boldsymbol{\delta}, \sigma^2 | \mathbf{Y}))}{\partial \lambda^2} \right]^{-1} \left[\frac{\partial \ln L((\lambda, \boldsymbol{\delta}, \sigma^2 | \mathbf{Y}))}{\partial \lambda} \right] \tag{2.29}$$

Setelah memperoleh parameter λ , maka estimasi parameter $\boldsymbol{\delta}_{MLE}$ diperbarui menggunakan MLE dengan memaksimalkan fungsi Persamaan (2.22) dengan menurunkannya terhadap $\boldsymbol{\delta}$ dan disamakan dengan nol.

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \ln L(\lambda, \boldsymbol{\delta}, \sigma^2 | \mathbf{Y})}{\partial \boldsymbol{\delta}} &= \mathbf{0} \\
\frac{\partial \left(c - \frac{n}{2} \ln \sigma^2 + \ln |\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W}| - \frac{1}{2\sigma^2} [(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta})]^T [(\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta})] \right)}{\partial \boldsymbol{\delta}} &= \mathbf{0} \\
\frac{\partial \left(-\frac{1}{2\sigma^2} ((\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta})^T (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^T (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta})) \right)}{\partial \boldsymbol{\delta}} &= \mathbf{0} \\
-\frac{1}{2\sigma^2} \frac{\partial ((\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta})^T (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^T (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta}))}{\partial \boldsymbol{\delta}} &= \mathbf{0} \\
-\frac{1}{2\sigma^2} \frac{\partial ((\mathbf{Y}^T - \boldsymbol{\delta}^T \mathbf{Z}^T) (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^T (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta}))}{\partial \boldsymbol{\delta}} &= \mathbf{0} \\
-\frac{1}{2\sigma^2} (-2\mathbf{Z}^T (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^T (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta})) &= \mathbf{0}
\end{aligned}$$

$$\frac{1}{\sigma^2}(\mathbf{Z}^T(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})^T(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta})) = \mathbf{0}$$

Karena σ^2 merupakan parameter varians yang nilainya selalu positif ($\sigma^2 > 0$), maka faktor $\frac{1}{\sigma^2}$ tidak memengaruhi nilai yang membuat persamaan sama dengan nol. Oleh karena itu, kedua ruas persamaan dikalikan dengan σ^2 , sehingga diperoleh

$$\mathbf{Z}^T(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})^T(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta}) = \mathbf{0}$$

$$\mathbf{Z}^T(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})^T(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})\mathbf{Y} - \mathbf{Z}^T(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})^T(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})\mathbf{Z}\boldsymbol{\delta} = \mathbf{0}$$

$$\mathbf{Z}^T(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})^T(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})\mathbf{Z}\boldsymbol{\delta} = \mathbf{Z}^T(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})^T(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})\mathbf{Y}$$

$$\boldsymbol{\delta} = [\mathbf{Z}^T(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})^T(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})\mathbf{Z}]^{-1}\mathbf{Z}^T(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})^T(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})\mathbf{Y}$$

Sehingga, hasil estimasi parameter dari $\boldsymbol{\delta}$ yaitu

$$\hat{\boldsymbol{\delta}}_{MLE} = [\mathbf{Z}^T(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})^T(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})\mathbf{Z}]^{-1}\mathbf{Z}^T(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})^T(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})\mathbf{Y} \quad (2.30)$$

Pada estimasi parameter σ^2 diperoleh dengan memaksimalkan fungsi Persamaan (2.22) dengan menurunkannya terhadap σ^2 dan disamakan dengan nol.

$$\frac{\partial \ln L(\lambda, \boldsymbol{\delta}, \sigma^2 | \mathbf{Y})}{\partial \sigma^2} = 0$$

$$\frac{\partial \left(c - \frac{n}{2} \ln \sigma^2 + \ln |\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W}| - \frac{1}{2\sigma^2} [(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta})]^T (\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta}) \right)}{\partial \sigma^2} = 0$$

$$\frac{\partial \left(c - \frac{n}{2} \ln \sigma^2 + \ln |\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W}| - \frac{[(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta})]^T (\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta})}{2} (\sigma^2)^{-1} \right)}{\partial \sigma^2} = 0$$

$$-\frac{n}{2\sigma^2} - \frac{[(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta})]^T (\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta})}{2} (-1)(\sigma^2)^{-2} = 0$$

$$-\frac{n}{2\sigma^2} + \frac{[(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta})]^T (\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta})}{2(\sigma^2)^2} = 0$$

$$-\frac{n}{2\sigma^2} + \frac{1}{2\sigma^4} [(\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta})]^T (\mathbf{I} - \lambda\mathbf{W})(\mathbf{Y} - \mathbf{Z}\boldsymbol{\delta}) = 0$$

$$-n\sigma^2 + [(I - \lambda W)(Y - Z\delta)]^T(I - \lambda W)(Y - Z\delta) = 0$$

$$n\sigma^2 = [(I - \lambda W)(Y - Z\delta)]^T(I - \lambda W)(Y - Z\delta)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n}[(I - \lambda W)(Y - Z\delta)]^T(I - \lambda W)(Y - Z\delta)$$

Sehingga, hasil estimasi parameter dari σ^2 yaitu

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n}[(I - \lambda W)(Y - Z\delta)]^T(I - \lambda W)(Y - Z\delta) \quad (2.31)$$

2.1.6 Uji Signifikansi Parameter

Setelah proses estimasi parameter dilakukan, tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian signifikansi parameter. Pengujian signifikansi parameter pemodelan spasial menggunakan uji *Wald* (Anselin, 1988). Untuk parameter λ digunakan hipotesis sebagai berikut.

$$H_0: \lambda = 0$$

$$H_1: \lambda \neq 0$$

Statistik Uji:

$$Wald_\lambda = \frac{\hat{\lambda}^2}{var(\hat{\lambda})} \quad (2.32)$$

Untuk parameter β digunakan hipotesis sebagai berikut.

$$H_0: \beta_j = 0$$

$$H_1: \beta_j \neq 0, j = 1, 2, \dots, k$$

Statistik Uji:

$$Wald_\beta = \frac{\hat{\beta}_j^2}{var(\hat{\beta}_j)} \quad (2.33)$$

Untuk parameter θ digunakan hipotesis sebagai berikut.

$$H_0: \theta_j = 0$$

$$H_1: \theta_j \neq 0, j = 1, 2, \dots, k$$

Statistik Uji:

$$Wald_{\theta} = \frac{\hat{\theta}_j^2}{var(\hat{\theta}_j)} \quad (2.34)$$

Kriteria pengambilan keputusan adalah H_0 ditolak jika nilai $Wald > \chi_{\alpha,1}^2$.

2.1.7 Uji Asumsi Model

Pemeriksaan asumsi model merupakan tahap penting dalam analisis regresi spasial. Pada penelitian ini, dilakukan dua pengujian asumsi, yaitu asumsi normalitas dan asumsi homogenitas.

1. Normalitas

Uji normalitas merupakan salah satu uji asumsi klasik yang bertujuan untuk mengetahui apakah sampel penelitian berdistribusi normal atau tidak. Dalam penelitian ini, uji digunakan adalah uji *Kolmogorov-Smirnov* (K-S).

Uji *Kolmogorov-Smirnov* membandingkan distribusi kumulatif empiris dari data sampel dengan distribusi kumulatif teoritis (dalam hal ini distribusi normal). Statistik uji K-S didefinisikan sebagai nilai maksimum dari selisih absolut antara fungsi distribusi kumulatif empiris dan fungsi distribusi kumulatif teoritis (Ghozali, 2018).

Hipotesis uji *Kolmogorov-Smirnov* dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$H_0: \text{Data berdistribusi normal}$$

$$H_1: \text{Data tidak berdistribusi normal}$$

Statistik Uji:

$$D = \sup |F(X) - F_0(X)| \quad (2.35)$$

dengan

D : Nilai uji *Kolmogorov-Smirnov*,

$F(X)$: Probabilitas kumulatif dari data pengamatan,

$F_0(X)$: Probabilitas kumulatif distribusi normal.

Dengan tingkat signifikansi sebanyak α , maka pengambilan keputusan untuk menolak H_0 jika nilai uji Kolmogorov-Smirnov (D) lebih besar daripada nilai kritis ($D_{n,\alpha}$). Nilai kritis didapatkan dari tabel *Kolmogorov-Smirnov*.

2. Heterogenitas Spasial

Heterogenitas spasial adalah kondisi ketika hubungan antar variabel atau karakteristik data berbeda antarwilayah, sehingga parameter atau struktur model tidak seragam di seluruh ruang (Anselin, 1988). Untuk mendeteksi adanya heterogenitas (ketidakseragaman varians) spasial digunakan uji *Breusch-Pagan* (BP). Adapun hipotesisnya adalah sebagai berikut.

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_n^2 = \sigma^2 \text{ (variansi homogen)}$$

$$H_1: \text{Minimal terdapat satu } \sigma_i^2 \neq \sigma^2 \text{ (variansi heterogen)}$$

Statistik Uji:

$$BP = \frac{1}{2} [\mathbf{f}^T \mathbf{Z} (\mathbf{Z}^T \mathbf{Z})^{-1} \mathbf{Z}^T \mathbf{f}] \sim \chi_k^2 \quad (2.36)$$

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

σ^2 : Nilai varians dari model yang akan diuji,

ε_i : *Error* untuk observasi ke- i ,

Z : Matriks yang dijelaskan dalam bab selanjutnya.

Pengambilan keputusan adalah H_0 ditolak jika $BP > \chi^2_{\alpha,k}$ (Goldfeld & Quandt, 1965).

2.1.8 Uji Kebaikan Model

Uji kebaikan model atau *goodness of fit* merupakan pengujian yang bertujuan untuk menilai sejauh mana model regresi yang dibentuk mampu menjelaskan variasi dari data yang diamati. Dengan kata lain, pengujian ini digunakan untuk mengukur tingkat kesesuaian antara nilai hasil prediksi model dengan nilai aktual dari variabel dependen. Model yang baik adalah model yang memiliki kemampuan tinggi dalam menjelaskan hubungan antara variabel independen dan variabel dependen.

Salah satu ukuran yang paling umum digunakan dalam menilai kebaikan model adalah koefisien determinasi (R^2). Menurut Gujarati (2003), koefisien determinasi menunjukkan proporsi variasi variabel dependen yang dapat dijelaskan oleh variabel independen dalam model regresi. Nilai R^2 berada pada rentang antara 0 dan 1, di mana nilai yang semakin mendekati 1 menandakan bahwa model memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menjelaskan variasi data, sedangkan nilai yang mendekati 0 menunjukkan bahwa model kurang mampu menjelaskan hubungan antar variabel. Rumusnya adalah

$$R^2 = 1 - \frac{SSR}{SST} \quad (2.37)$$

dengan

SSR : Jumlah kuadrat selisih antara nilai aktual dan nilai prediksi model,

SST : Jumlah kuadrat selisih antara nilai aktual dan nilai rata-rata observasi.

Selain koefisien determinasi, terdapat pula *Adjusted R²* untuk menyesuaikan nilai R^2 terhadap jumlah variabel independen yang digunakan dalam model regresi. *Adjusted R²* umumnya digunakan pada model dengan jumlah variabel independen yang cukup banyak sehingga penilaian kebaikan model menjadi lebih akurat (Gujarati, 2003).

$$Adjusted R^2 = 1 - \left(\frac{(1 - R^2)(n - 1)}{n - k - 1} \right) \quad (2.38)$$

dengan

n : Jumlah observasi,

k : Jumlah variabel independen dalam model.

2.1.9 Tuberkulosis

Tuberkulosis (TBC) merupakan penyakit menular yang disebabkan oleh *Mycobacterium tuberculosis*, yaitu basil tahan asam yang dapat menyerang berbagai organ tubuh, terutama paru-paru. Penyakit ini telah lama menjadi salah satu masalah kesehatan masyarakat utama di dunia. Menurut penelitian oleh Paiddkk. (2016), infeksi TBC dapat bersifat laten maupun aktif tergantung pada respon sistem imun inangnya. Pada kondisi tertentu, bakteri dapat bertahan di dalam tubuh tanpa menimbulkan gejala, namun dapat menjadi aktif ketika daya tahan tubuh melemah. Selain itu, penyebaran TBC yang cepat di negara berkembang disebabkan oleh padatnya populasi dan keterbatasan fasilitas kesehatan.

Penularan TBC terjadi melalui udara (*airborne transmission*), di mana basil tuberkulosis berpindah dari penderita aktif ke individu sehat melalui percikan droplet saat batuk, bersin, atau berbicara. Droplet tersebut dapat terhirup oleh individu lain dan menimbulkan infeksi baru. Manifestasi klinis dari TBC paru antara lain batuk kronis, demam, keringat malam, dan penurunan berat badan, sedangkan TBC ekstra paru dapat menyerang organ seperti kelenjar getah bening, tulang, dan sistem saraf pusat. Diagnosis TBC dapat dilakukan dengan berbagai metode, termasuk pemeriksaan mikroskopis, uji molekuler, serta kultur bakteri (Pai dkk., 2016).

Pengendalian dan pengobatan TBC memerlukan terapi jangka panjang menggunakan kombinasi obat antituberkulosis. Dalam penelitian Pai dkk. (2016) disebutkan bahwa terapi standar umumnya terdiri dari dua tahap, yaitu fase intensif dan fase lanjutan, yang bertujuan untuk membunuh bakteri serta mencegah kekambuhan dan resistensi obat. Meskipun pengobatan efektif tersedia, tantangan besar tetap ada, seperti munculnya kasus TBC resistan obat (*multidrug-resistant tuberculosis* atau MDR-TB), ketidakpatuhan pasien terhadap pengobatan, serta keterlambatan diagnosis yang dapat memperburuk penyebaran penyakit. Oleh karena itu, upaya pengendalian TBC perlu dilakukan secara komprehensif dengan memperkuat strategi pencegahan, diagnosis dini, dan kepatuhan terapi.

2.2 Kajian Integrasi Topik dengan Al-Qur'an/Hadits

2.2.1 Pengertian Taqwa

Secara bahasa (etimologis), kata taqwa berasal dari akar kata Arab *waqā-yaqī-wiqāyah* (وقى-يقي-وقاية) yang berarti menjaga, melindungi, atau menjauhkan diri dari sesuatu yang membahayakan. Dalam konteks keagamaan, makna ini berkembang menjadi sikap seseorang yang berusaha melindungi dirinya dari hal-hal yang dapat mendatangkan murka dan siksa Allah dengan melakukan tindakan pencegahan berupa ketaatan dan kehati-hatian (Ibn Manzhūr, 1990).

Secara istilah (terminologis), para ulama mendefinisikan taqwa sebagai upaya menjaga diri dari segala hal yang dapat menjerumuskan kepada dosa dengan cara menaati seluruh perintah Allah dan menjauhi larangan-Nya. Menurut Al-Jurjānī (1983), taqwa berarti menjaga diri dari hal-hal yang menyebabkan dosa dengan meninggalkan segala yang dilarang Allah. Sementara itu, Ibn Rajab al-Hanbalī (1997) menjelaskan bahwa taqwa ialah menjalankan ketaatan kepada Allah dengan cahaya petunjuk dari-Nya karena mengharap pahala-Nya, serta meninggalkan maksiat kepada Allah dengan cahaya petunjuk dari-Nya karena takut akan siksa-Nya.

Menurut Imam Al-Ghazali (1980), “Taqwa adalah menjauhkan diri dari murka Allah dengan meninggalkan dosa, baik besar maupun kecil”. Pandangan ini menegaskan bahwa taqwa menuntut kehati-hatian menyeluruh terhadap segala bentuk pelanggaran, sekecil apa pun. Orang yang bertaqwa bukan hanya menjauhi dosa besar seperti syirik dan kefasikan, tetapi juga menghindari dosa kecil yang dapat menumpuk dan menggelapkan hati.

Sedangkan Sayyid Quthb menjelaskan bahwa taqwa adalah “kesadaran terus-menerus akan kehadiran Allah dalam setiap gerak langkah manusia”. Ia menekankan bahwa taqwa bukan sekadar pelaksanaan hukum formal agama, tetapi keadaan jiwa yang hidup di bawah naungan kesadaran Ilahi. Seseorang yang memiliki taqwa akan terdorong untuk berbuat benar, jujur, dan adil dalam setiap aspek kehidupan karena merasa selalu diawasi oleh Allah (Quthb, 2003).

Sementara M. Quraish Shihab menyatakan bahwa taqwa adalah “kesadaran mendalam akan kehadiran Allah yang mendorong manusia untuk selalu patuh kepada-Nya dan menjauh dari larangan-Nya”. Dalam pandangan ini, taqwa mencakup dimensi spiritual, moral, dan sosial. Ia mengatur hubungan manusia dengan Allah sekaligus membimbing interaksi dengan sesama makhluk. Orang yang bertaqwa tidak hanya beriman dan beribadah, tetapi juga menjaga integritas, keadilan, dan kemaslahatan sosial (Shihab, 1996).

2.2.2 Landasan Al-Qur'an dan Hadits tentang Taqwa

Konsep taqwa merupakan tema sentral dalam ajaran Islam yang menjadi dasar pembentukan pribadi dan masyarakat beriman. Al-Qur'an berulang kali menegaskan pentingnya taqwa sebagai kriteria utama dalam penilaian kemuliaan manusia di sisi Allah, bukan status sosial, keturunan, maupun kekayaan. Salah satu ayat yang menunjukkan kedudukan tinggi taqwa terdapat dalam firman Allah:

ذَٰلِكَ الْكِتَابُ لَا رَيْبَ فِيهِ هُدًى لِّلْمُتَّقِينَ ﴿٢﴾

(Kementerian Agama, 2022)

“Kitab (Al-Qur'an) ini tidak ada keraguan di dalamnya; (ia merupakan) petunjuk bagi orang-orang yang bertakwa.” (QS. Al-Baqarah [2]: 2)

Ayat ini menjelaskan bahwa Al-Qur'an merupakan wahyu Allah Swt. yang diturunkan kepada Nabi Muhammad saw., nabi terakhir, melalui perantaraan malaikat Jibril a.s., sehingga kebenarannya tidak dapat diragukan. Al-Qur'an berfungsi sebagai petunjuk hidup bagi orang-orang yang bertakwa, agar mereka memperoleh kebahagiaan di dunia dan di akhirat. Orang yang bertakwa adalah mereka yang senantiasa menjaga diri dari azab Allah dengan menaati perintah-Nya dan menjauhi segala larangan-Nya. (Kementerian Agama, 2022).

Selanjutnya, Allah juga menegaskan bahwa tolok ukur kemuliaan manusia di sisi-Nya bukanlah status duniawi, melainkan tingkat ketakwaannya. Hal ini ditegaskan dalam firman-Nya:

يَا أَيُّهَا النَّاسُ إِنَّا خَلَقْنَاكُمْ مِنْ ذَكَرٍ وَأُنْثَىٰ وَجَعَلْنَاكُمْ شُعُوبًا وَقَبَائِلَ لِتَعَارَفُوا إِنَّ أَكْرَمَكُمْ عِنْدَ اللَّهِ أَتْقَاكُمْ إِنَّ اللَّهَ عَلِيمٌ خَبِيرٌ ﴿١٣﴾

(Kementerian Agama, 2022)

“Wahai manusia, sesungguhnya Kami telah menciptakan kamu dari seorang laki-laki dan perempuan. Kemudian, Kami menjadikan kamu berbangsa-bangsa dan bersuku-suku agar kamu saling mengenal. Sesungguhnya yang paling mulia di antara kamu di sisi Allah adalah orang yang paling bertakwa. Sesungguhnya Allah Maha Mengetahui lagi Maha Teliti.”(QS. Al-Hujurat [49]: 13)

Ayat ini menegaskan bahwa manusia diciptakan dari asal yang sama, yaitu seorang laki-laki (Adam) dan seorang perempuan (Hawa). Kemudian mereka dikembangkan menjadi berbagai suku, bangsa, dan warna kulit yang berbeda sebagai sarana untuk saling mengenal, bekerja sama, dan mempererat hubungan sosial, bukan untuk saling merendahkan atau memunculkan rasa superioritas. Allah tidak menyukai sikap yang mengagungkan kelebihan duniawi seperti keturunan, jabatan, atau harta, karena ukuran kemuliaan di sisi-Nya tidak

terletak pada faktor tersebut, melainkan pada seberapa besar ketakwaan seseorang kepada Allah.

Dalam kehidupan, manusia sering kali mengaitkan kehormatan dengan identitas sosial dan kekayaan materi. Namun, Allah menegaskan bahwa standar kemuliaan yang sejati adalah ketakwaan, yakni ketaatan dan kepatuhan pada-Nya dalam setiap aspek kehidupan (Kementerian Agama, 2022). Selain itu, landasan penting tentang taqwa juga terdapat dalam firman-Nya yang berbunyi:

بَلَىٰ مَنْ أَوْفَىٰ بِعَهْدِهِ وَاتَّقَىٰ فَإِنَّ اللَّهَ يُحِبُّ الْمُتَّقِينَ ﴿٧٦﴾

(Kementerian Agama, 2022)

“Bukan begitu! Siapa yang menepati janji dan bertakwa, sesungguhnya Allah mencintai orang-orang yang bertakwa.” (QS. Ali ‘Imran [3]: 76)

Pada ayat ini dijelaskan sesungguhnya kebenarannya ialah bahwa mereka (Bani Israil) tetap berdosa karena telah berbuat khianat. Sebaliknya, siapa pun yang menepati janji dengan mengembalikan hak orang lain tepat pada waktunya dan senantiasa bertakwa, maka dengan ketakwaannya itu ia akan meraih kasih sayang Allah. Sebab, Allah mencintai hamba-hamba-Nya yang bertakwa. Hal ini menegaskan bahwa sikap menepati janji dan menjauhi pengkhianatan merupakan salah satu ciri penting dari ketakwaan. Dalam ayat lain juga disebutkan:

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا اتَّقُوا اللَّهَ حَقَّ تُقَاتِهِ ۖ وَلَا تَمُوتُنَّ إِلَّا وَأَنتُمْ مُسْلِمُونَ ﴿١٠٢﴾

(Kementerian Agama, 2022)

“Wahai orang-orang yang beriman, bertakwalah kepada Allah dengan sebenar-benar takwa kepada-Nya dan janganlah kamu mati kecuali dalam keadaan muslim.” (QS. Ali ‘Imran [3]: 102)

Ayat ini menjelaskan bahwa supaya keimanan menjadi teguh dan tidak mudah goyah ketika menghadapi berbagai ujian, wahai orang-orang beriman, bertakwalah kepada Allah dengan sebenar-benarnya takwa, sesuai dengan

kebesaran, keagungan, dan kasih sayang-Nya kepadamu. Wujud nyata dari ketakwaan tersebut adalah dengan senantiasa menaati perintah Allah tanpa durhaka, selalu mengingat-Nya tanpa lalai, serta mensyukuri setiap nikmat-Nya tanpa mengingkari sekecil apa pun karunia yang diberikan. Laksanakanlah semua itu hingga akhir hayatmu, dan janganlah engkau meninggal dunia kecuali dalam keadaan berserah diri sepenuhnya kepada Allah, memegang teguh agama Islam yang diridai-Nya. Karena waktu kematian tidak diketahui oleh siapa pun, maka hendaknya setiap hamba berupaya sekuat tenaga untuk senantiasa berada di jalan Allah, sebab ganjaran yang diberikan-Nya akan sebanding dengan usaha dan ketulusan yang dilakukan (Kementerian Agama, 2022).

Landasan tentang pentingnya taqwa juga diperkuat oleh berbagai hadits Nabi Muhammad s.a.w. Di antaranya sabda beliau:

عَنْ أَبِي هُرَيْرَةَ قَالَ: قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ: (إِنَّ اللَّهَ لَا يَنْظُرُ إِلَى صُورِكُمْ وَأَمْوَالِكُمْ وَلَكِنْ يَنْظُرُ إِلَى قُلُوبِكُمْ وَأَعْمَالِكُمْ) رواه مسلم

Dari Abu Hurairah berkata, Rasulullah s.a.w. bersabda: “Sesungguhnya Allah tidak melihat fisik dan harta kalian tetapi Ia melihat hati dan amal kalian.”(HR. Muslim no. 2564)

Hadits ini menunjukkan bahwa ukuran kemuliaan manusia tidak terletak pada penampilan atau kedudukan sosial, tetapi pada kualitas hati yang dipenuhi ketakwaan dan keikhlasan dalam beramal. Disebutkan dalam hadits lain:

عَنْ أَبِي ذَرٍّ جُنْدُبِ بْنِ جُنَادَةَ وَأَبِي عَبْدِ الرَّحْمَنِ مُعَاذِ بْنِ جَبَلٍ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُمَا عَنْ رَسُولِ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ قَالَ: (اتَّقِ اللَّهَ حَيْثُمَا كُنْتَ، وَاتَّبِعِ السَّبِيلَةَ الْحَسَنَةَ تَمَحُّهَا، وَخَالِقِ النَّاسَ بِخُلُقٍ حَسَنٍ) رَوَاهُ التِّرْمِذِيُّ وَقَالَ: حَدِيثٌ حَسَنٌ. وَفِي بَعْضِ النُّسخ: حَسَنٌ صَحِيحٌ

Dari Abu Zar, Jundub bin Junadah dan Abu Abdurrahman, dan Mu'az bin Jabal radhiallahuanhuma dari Rasulullah shallallahu 'alaihi wa sallam beliau bersabda: Bertakwalah kepada Allah di mana saja kamu berada, iringilah keburukan dengan kebaikan yang dapat menghapusnya dan pergaulilah manusia dengan akhlak yang baik" (HR. Al-Tirmidzi, dan ia berkata bahwa hadits ini hasan, pada sebagian naskah dikatakan hasan shahih)

Hadits ini mengajarkan bahwa setiap muslim wajib bertakwa kepada Allah karena takwa merupakan asas diterimanya amal saleh. Selain itu, hadits ini mendorong umat Islam untuk segera melakukan kebaikan setelah melakukan keburukan, sebab kebaikan dapat menghapus keburukan yang telah dilakukan. Seorang muslim juga dituntut untuk bersungguh-sungguh menghiasi dirinya dengan akhlak yang mulia, karena akhlak yang baik merupakan cerminan keimanan yang sempurna. Di samping itu, menjaga pergaulan yang baik menjadi kunci kesuksesan, kebahagiaan, dan ketenangan hidup di dunia maupun di akhirat, sekaligus dapat menghindarkan seseorang dari dampak negatif yang timbul akibat pergaulan yang buruk (An-Nawawi, 2008).

2.2.3 Syarat Tercapainya Taqwa

Taqwa merupakan puncak dari keimanan seseorang kepada Allah Swt. Tidak semua orang dapat dengan mudah mencapai derajat taqwa, sebab hal tersebut menuntut kesungguhan dalam beribadah, keikhlasan hati, serta konsistensi dalam menjalankan perintah dan menjauhi larangan-Nya. Taqwa tidak hanya diwujudkan dalam bentuk ketaatan lahiriah, melainkan juga mencakup pengendalian diri, kemurnian niat, dan kesadaran spiritual yang mendalam terhadap kehadiran Allah dalam setiap aspek kehidupan. Dengan demikian, untuk mencapai taqwa, seseorang harus memenuhi beberapa syarat yang menjadi dasar pembentuknya (Shihab, 1996).

Syarat pertama untuk mencapai taqwa adalah iman yang benar kepada Allah Swt. Iman menjadi pondasi utama bagi munculnya taqwa, karena seseorang tidak mungkin takut dan patuh kepada Allah jika ia belum meyakini

keesaan dan kekuasaan-Nya. Keimanan yang kuat akan menumbuhkan rasa cinta dan takut kepada Allah secara seimbang, sehingga mendorong seseorang untuk menaati segala perintah-Nya dan menjauhi larangan-Nya. Hal ini sesuai dengan firman Allah Swt. dalam QS. Al-Baqarah [2]: 2–3 yang berbunyi:

ذَٰلِكَ الْكِتَابُ لَا رَيْبَ فِيهِ هُدًى لِّلْمُتَّقِينَ ﴿٢﴾ الَّذِينَ يُؤْمِنُونَ بِالْغَيْبِ وَيُقِيمُونَ الصَّلَاةَ وَمِمَّا رَزَقْنَاهُمْ يُنْفِقُونَ ﴿٣﴾

(Kementerian Agama, 2022)

“Kitab (Al-Qur’an) ini tidak ada keraguan di dalamnya; (ia merupakan) petunjuk bagi orang-orang yang bertakwa, (yaitu) orang-orang yang beriman pada yang gaib, menegakkan salat, dan menginfakkan sebagian rezeki yang Kami anugerahkan kepada mereka,” (QS. Al-Baqarah [2]: 2–3)

Ayat ini menunjukkan bahwa Al-Qur’an adalah petunjuk bagi orang-orang yang bertaqwa, yaitu mereka yang beriman kepada yang *ghaib*. Oleh karena itu, iman yang murni dan tidak tercampur dengan kemusyrikan merupakan syarat utama agar taqwa dapat tumbuh secara sempurna (Al-Ghazali, 1980).

Syarat kedua adalah ilmu dan pemahaman yang benar tentang agama. Taqwa tidak mungkin dicapai tanpa pengetahuan yang memadai mengenai apa yang diperintahkan dan dilarang oleh Allah. Dengan ilmu, seseorang dapat membedakan antara yang halal dan yang haram, serta antara kebaikan dan keburukan. Sebagaimana dalam hadits:

عَنْ مُعَاوِيَةَ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُ قَالَ: سَمِعْتُ النَّبِيَّ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ يَقُولُ: (مَنْ يُرِدِ اللَّهُ بِهِ خَيْرًا يُفَقِّهْهُ فِي الدِّينِ، وَإِنَّمَا أَنَا قَاسِمٌ وَاللَّهُ يُعْطِي، وَلَنْ تَزَالَ هَذِهِ الْأُمَّةُ قَائِمَةً عَلَى أَمْرِ اللَّهِ، لَا يَضُرُّهُمْ مَنْ خَالَفَهُمْ حَتَّى يَأْتِيَ أَمْرُ اللَّهِ) رواه البخاري ومسلم

“Dari Mu’awiyah r.a. berkata: Aku mendengar Nabi saw. bersabda, ‘Barang siapa yang Allah kehendaki kebaikan baginya, maka Dia akan memahamkannya tentang agama. Aku hanyalah pembagi, sedangkan Allah yang memberi. Dan umat ini akan senantiasa tegak di atas perintah Allah, tidak akan membahayakan mereka orang-orang yang menentanginya hingga datang ketetapan Allah.’” (HR. Bukhari dan Muslim)

Hadits ini menunjukkan bahwa pemahaman agama adalah langkah penting menuju ketaatan yang benar, bukan sekadar mengikuti kebiasaan tanpa dasar ilmu. Ibn Rajab al-Hanbalī (1997) menegaskan bahwa ilmu dan amal tidak dapat dipisahkan, sebab ilmu yang tidak diamalkan tidak bermanfaat, sedangkan amal tanpa ilmu tidak akan diterima di sisi Allah.

Syarat ketiga adalah keikhlasan dalam beramal. Amal saleh yang tidak disertai keikhlasan tidak akan membawa seseorang kepada taqwa, sebab taqwa menuntut penghambaan yang murni kepada Allah semata. Keikhlasan menjauhkan seseorang dari *riya* dan *ujub*, yaitu perasaan bangga terhadap amal sendiri. Allah Swt. berfirman dalam QS. Al-Bayyinah [98]: 5 yang berbunyi:

وَمَا أُمِرُوا إِلَّا لِيَعْبُدُوا اللَّهَ مُخْلِصِينَ لَهُ الدِّينَ ۚ حُنَفَاءَ وَيُقِيمُوا الصَّلَاةَ وَيُؤْتُوا الزَّكَاةَ وَذَلِكَ دِينُ الْقِيَمَةِ ﴿٥﴾

(Kementerian Agama, 2022)

“Mereka tidak diperintah, kecuali untuk menyembah Allah dengan mengikhlaskan ketaatan kepada-Nya lagi hanif (istikamah), melaksanakan salat, dan menunaikan zakat. Itulah agama yang lurus (benar).” (QS. Al-Bayyinah [98]: 5)

Keikhlasan menjadikan setiap amal bernilai ibadah di sisi Allah, karena dilakukan semata-mata untuk mencari *ridha*-Nya, bukan untuk mendapatkan pujian manusia (Al-Ghazali, 1980).

Syarat keempat adalah kemauan kuat untuk *istiqamah*. Dalam perjalanan menuju taqwa, seseorang akan menghadapi banyak ujian dan godaan. Oleh sebab itu, keteguhan hati dalam memegang prinsip dan ajaran Allah sangat diperlukan. Istiqamah berarti tetap berada di jalan kebenaran meskipun menghadapi kesulitan. Allah Swt. berfirman dalam QS. Fussilat [41]: 30 yang berbunyi:

إِنَّ الَّذِينَ قَالُوا رَبُّنَا اللَّهُ ثُمَّ اسْتَقَامُوا تَتَنَزَّلُ عَلَيْهِمُ الْمَلَائِكَةُ أَلَّا تَخَافُوا وَلَا تَحْزَنُوا وَأَبْشِرُوا بِالْجَنَّةِ الَّتِي كُنْتُمْ تُوعَدُونَ ﴿٣٠﴾

(Kementerian Agama, 2022)

“*Sesungguhnya orang-orang yang berkata, ‘Tuhan kami adalah Allah,’ kemudian tetap (dalam pendiriannya), akan turun malaikat-malaikat kepada mereka (seraya berkata), ‘Janganlah kamu takut dan bersedih hati serta bergembiralah dengan (memperoleh) surga yang telah dijanjikan kepadamu.’*” (QS. Fussilat [41]: 30)

Ayat ini menegaskan bahwa *istiqamah* merupakan tanda sekaligus syarat agar seseorang dapat menjaga dan mempertahankan taqwanya (Ibn Qayyim al-Jauziyyah, 2005).

Selain itu, *muhasabah* diri juga menjadi salah satu syarat penting dalam upaya mencapai taqwa. Dengan melakukan introspeksi secara rutin, seseorang dapat menilai sejauh mana amal dan perilakunya sesuai dengan ajaran Islam. *Muhasabah* membantu memperbaiki kesalahan dan memperkuat komitmen dalam beribadah. Dalam hadits disebutkan:

عَنْ عُمَرَ بْنِ الْخَطَّابِ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُ قَالَ: (حَاسِبُوا أَنْفُسَكُمْ قَبْلَ أَنْ تُحَاسَبُوا، وَزِنُوا أَنْفُسَكُمْ قَبْلَ أَنْ تُوزَنُوا، وَتَزَيَّنُوا لِلْعَرْضِ الْأَكْبَرِ، يَوْمَ تُعْرَضُونَ لَا تَخْفَى مِنْكُمْ خَافِيَةٌ.) رواه الإمام أحمد في الزهد والبيهقي في شعب الإيمان وذكره ابن القيم في مدارج السالكين

“*Hisablah diri kalian sebelum kalian dihisab, dan timbanglah amal kalian sebelum kalian ditimbang, serta berhiaslah untuk menghadapi hari besar di mana kalian akan dihadapkan (di hadapan Allah), pada hari ketika kalian akan ditampakkan, tiada sesuatu pun dari kalian yang tersembunyi.*” (Diriwayatkan oleh Imam Ahmad dalam az-Zuhd, al-Baihaqi dalam Syu‘abul Iman, dan disebutkan oleh Ibnul Qayyim dalam Madarijus Salikin.)

Perkataan tersebut menunjukkan pentingnya evaluasi diri agar seseorang tidak terlena dan senantiasa meningkatkan kualitas ketakwaannya. Shihab (1996) juga menegaskan bahwa *muhasabah* merupakan bagian dari kesadaran spiritual yang membantu seseorang menjaga kedekatan dengan Allah.

2.2.4 Tujuan dan Hikmah Taqwa

Perintah untuk bertakwa kepada Allah memiliki tujuan yang sangat mendasar dalam kehidupan manusia, baik secara spiritual maupun sosial. Takwa bukan hanya sekadar bentuk ketaatan, melainkan juga sarana untuk membentuk kepribadian yang selaras dengan nilai-nilai Ilahi. Melalui takwa, manusia diarahkan untuk selalu sadar akan kehadiran Allah, sehingga setiap perilaku, ucapan, dan keputusan senantiasa dilandasi oleh rasa tanggung jawab moral dan spiritual (Shihab, 1996). Dengan demikian, tujuan utama dari takwa adalah menjadikan manusia sebagai pribadi yang berakhlak, adil, dan mampu mengendalikan diri dalam setiap situasi kehidupan.

Salah satu hikmah dari takwa adalah memperoleh keberkahan hidup di dunia. Hal ini dijelaskan dalam firman Allah SWT:

وَلَوْ أَنَّ أَهْلَ الْقُرَىٰ آمَنُوا وَاتَّقَوْا لَفَتَحْنَا عَلَيْهِم بَرَكَاتٍ مِّنَ السَّمَاءِ وَالْأَرْضِ وَلَكِن كَذَّبُوا فَأَخَذْنَاهُم بِمَا كَانُوا يَكْسِبُونَ ﴿٩٦﴾

(Kementerian Agama, 2022)

“Sekiranya penduduk negeri-negeri beriman dan bertakwa, niscaya Kami akan membukakan untuk mereka berbagai keberkahan dari langit dan bumi. Akan tetapi, mereka mendustakan (para rasul dan ayat-ayat Kami). Maka, Kami menyiksa mereka disebabkan oleh apa yang selalu mereka kerjakan.” (QS. Al-A‘rāf [7]: 96).

Ayat ini menjelaskan bahwa jika penduduk Mekah, negeri-negeri di sekitarnya, dan seluruh umat manusia beriman kepada ajaran yang dibawa oleh Nabi dan Rasul terakhir, yaitu Nabi Muhammad saw., serta bertakwa kepada Allah dengan menjauhi segala larangan-Nya seperti kemusyrikan dan perbuatan yang menimbulkan kerusakan di bumi, maka Allah akan melimpahkan kepada mereka berbagai kebaikan dari langit dan bumi. Nikmat dari langit berupa turunnya hujan yang menyuburkan tanah, menumbuhkan berbagai tanaman,

serta memperbanyak hewan ternak yang sangat bermanfaat bagi manusia. Selain itu, mereka juga akan diberi anugerah berupa ilmu pengetahuan yang luas dan kemampuan memahami hukum sebab-akibat dalam ciptaan Allah. Dengan hal tersebut, manusia akan mampu membangun kehidupan yang baik serta terhindar dari berbagai bencana yang biasanya menimpa orang-orang yang kufur dan tidak mensyukuri nikmat serta karunia Allah (Kementerian Agama, 2022). Selain itu disebutkan juga dalam ayat:

وَلَوْ أَنَّ أَهْلَ الْكِتَابِ آمَنُوا وَاتَّقَوْا لَكَفَّرْنَا عَنْهُمْ سَيِّئَاتِهِمْ وَلَأَدْخُلْنَهُمْ جَنَّاتِ النَّعِيمِ ﴿٦٥﴾

(Kementerian Agama, 2022)

“Seandainya Ahlulkitab itu beriman dan bertakwa, niscaya Kami hapus kesalahan-kesalahan mereka dan tentu Kami masukkan mereka ke dalam surga-surga yang penuh kenikmatan.” (QS. Al-Mā'idah [5]: 65).

Ayat ini menegaskan bahwa andaikata Ahli Kitab beriman kepada Allah dan mengakui Nabi Muhammad saw. sebagai Rasul terakhir serta bertakwa dengan menjauhi segala perbuatan dosa, maka Allah akan mengampuni kesalahan dan kejahatan mereka serta memasukkan mereka ke dalam surga penuh kenikmatan. Hal ini menunjukkan bahwa ampunan dan kenikmatan surga bergantung pada keimanan yang disertai dengan ketakwaan dan ketaatan. Tanpa takwa, iman hanya menjadi formalitas yang digunakan demi kepentingan duniawi semata. Karena itu, takwa menjadi kunci utama untuk meraih ampunan Allah dan memperoleh kebahagiaan abadi di akhirat, sebagaimana Allah Maha Pengampun terhadap hamba-hamba-Nya yang beriman dan bertakwa (Kementerian Agama, 2022). Dalam ayat juga disebutkan:

جَنَّاتٌ عَدْنٍ يَدْخُلُونَهَا يُجْرِي مِنْ تَحْتِهَا الْأَنْهَارُ هُمْ فِيهَا مَا يَشَاءُونَ كَذَلِكَ يَجْزِي اللَّهُ الْمُتَّقِينَ ﴿٤١﴾

(Kementerian Agama, 2022)

“(yaitu) surga-surga ‘Adn yang mereka masuki. Sungai-sungai mengalir di bawahnya. Di dalam (surga) itu mereka mendapat segala yang mereka

inginkan. Demikianlah Allah memberi balasan kepada orang-orang yang bertakwa.”(QS. An-Nahl [16]: 31).

Allah menggambarkan surga sebagai tempat tinggal bagi orang-orang yang bertakwa, yaitu surga ‘Adn yang di bawahnya mengalir berbagai sungai. Di dalamnya, mereka akan memperoleh segala yang diinginkan, berupa keindahan pemandangan, kemewahan fasilitas, serta pelayanan yang jauh melebihi kenikmatan dunia. Allah juga menegaskan bahwa para penghuni surga tersebut akan kekal di dalamnya untuk selama-lamanya. Janji surga ‘Adn diberikan kepada orang-orang mukmin yang sungguh-sungguh bertakwa, menjaga diri dari perbuatan syirik dan maksiat. Penegasan ini menjadi dorongan penting bagi setiap mukmin agar senantiasa menumbuhkan dan meningkatkan ketakwaannya menuju derajat yang lebih tinggi di sisi Allah (Kementerian Agama, 2022). Pada ayat lain disebutkan:

وَيُنَجِّي اللَّهُ الَّذِينَ اتَّقَوْا بِمَفَازِهِمْ لَا يَمَسُّهُمْ السُّوءُ وَلَا هُمْ يَحْزَنُونَ ﴿٦١﴾

(Kementerian Agama, 2022)

“Allah menyelamatkan orang-orang yang bertakwa karena kemenangannya sehingga mereka tidak disentuh oleh azab dan tidak bersedih.”(QS. Az-Zumar [39]: 61).

Allah menjelaskan keadaan orang-orang yang beriman dan bertakwa. Pada hari Kiamat, mereka akan dilindungi oleh Allah dari berbagai kengerian dan bencana yang terjadi saat itu. Berkat pertolongan Allah serta amal saleh yang mereka lakukan di dunia, mereka mampu melewati segala kesulitan dan terhindar dari berbagai bahaya hingga akhirnya masuk ke dalam surga, tempat berakhirnya segala penderitaan dan kesedihan. Wajah mereka tampak cerah berseri-seri, memancarkan kegembiraan dan kebahagiaan yang mendalam.

Selain itu, takwa juga menjadi jalan keluar dari berbagai kesulitan hidup (Kementerian Agama, 2022). Dalam QS. At-Talāq [65]: 2–3 disebutkan:

فَإِذَا بَلَغْنَ أَجَلَهُنَّ فَأَمْسِكُوهُنَّ بِمَعْرُوفٍ أَوْ فَارِقُوهُنَّ بِمَعْرُوفٍ وَأَشْهِدُوا ذَوِي عَدْلٍ مِّنْكُمْ وَأَقِيمُوا
الشَّهَادَةَ لِلَّهِ ذَلِكُمْ يُوعَظُ بِهِ مَنْ كَانَ يُؤْمِنُ بِاللَّهِ وَالْيَوْمِ الْآخِرِ هـ وَمَنْ يَتَّقِ اللَّهَ يَجْعَلْ لَهُ
مَخْرَجًا ﴿٦٥﴾

(Kementerian Agama, 2022)

“Apabila mereka telah mendekati akhir idahnya, rujuklah dengan mereka secara baik atau lepaskanlah mereka secara baik dan persaksikanlah dengan dua orang saksi yang adil dari kamu dan hendaklah kamu tegakkan kesaksian itu karena Allah. Yang demikian itu dinasihatkan kepada orang-orang di antara kamu yang beriman kepada Allah dan hari akhir. Siapa yang bertakwa kepada Allah, niscaya Dia akan membukakan jalan keluar baginya.” (QS. At-Talāq [65]: 2).

Ayat ini menunjukkan bahwa Bagi orang-orang yang bertakwa, Allah tidak hanya memberikan jalan keluar dari setiap kesulitan, tetapi juga menganugerahkan rezeki dari arah yang tidak disangka-sangka, bahkan dari hal yang tak pernah terpikirkan sebelumnya. Setelah itu, Allah memerintahkan agar mereka senantiasa bertawakal kepada-Nya, karena hanya Allah yang mampu mencukupi segala kebutuhan dan menyempurnakan urusan hamba-Nya.

Tawakal berarti berserah diri sepenuhnya kepada Allah setelah melakukan usaha dan ikhtiar dengan sungguh-sungguh. Seseorang tidak dapat disebut bertawakal apabila ia pasrah tanpa berusaha. Nabi saw. menegaskan hal ini ketika seorang Arab Badui datang menemuinya di Madinah tanpa menambatkan untanya, dengan alasan telah bertawakal kepada Allah. Nabi pun bersabda, “Tambatkan dulu untamu, baru bertawakal.” Hal ini menunjukkan bahwa Allah akan menolong dan menyempurnakan urusan orang yang benar-benar bertawakal kepada-Nya, sesuai dengan kehendak dan waktu yang telah ditetapkan (Kementerian Agama, 2022).

Hikmah lain dari takwa adalah terhindarnya manusia dari azab dunia dan akhirat. Dalam berbagai ayat, Allah menegaskan bahwa ketakwaan menjadi perisai yang menyelamatkan manusia dari kehancuran moral dan bencana akibat perbuatan dosa (Ibn Katsir, 2000). Dengan bertakwa, seseorang akan senantiasa melakukan introspeksi diri (*muhasabah*), menegakkan keadilan, dan menunaikan tanggung jawab moral terhadap diri sendiri, sesama, dan lingkungannya.

2.2.5 Pelaksanaan Taqwa dalam Kehidupan

Taqwa tidak hanya sebatas konsep spiritual yang bersifat teoritis, melainkan harus diwujudkan dalam bentuk perilaku dan amalan nyata dalam kehidupan sehari-hari. Seorang hamba yang bertaqwa akan berusaha menerapkan nilai-nilai keimanan dalam setiap aspek kehidupannya, baik dalam hubungan dengan Allah maupun dengan sesama manusia. Pelaksanaan taqwa menuntut adanya kesadaran, disiplin diri, dan komitmen yang terus-menerus untuk menjaga ketaatan kepada Allah. Menurut Al-Qaradawi (1997) dalam *Tazkiyatun Nafs*, pelaksanaan taqwa dalam kehidupan dapat ditempuh melalui lima langkah pembinaan jiwa, yaitu *Mu'ahadah*, *Muraqabah*, *Muhasabah*, *Mu'aqabah*, dan *Mujahadah*.

Langkah pertama yang menjadi dasar dari pembinaan jiwa adalah *Mu'ahadah*, yaitu mengingat dan memperbarui perjanjian dengan Allah (Al-Qaradawi, 1997). Manusia sejak awal penciptaannya telah membawa janji fitrah untuk hanya menyembah Allah, sebagaimana disebutkan dalam QS. Al-A'raf [7]: 172:

وَإِذْ أَخَذَ رَبُّكَ مِنْ بَنِي آدَمَ مِنْ ظُهُورِهِمْ ذُرِّيَّتَهُمْ وَأَشْهَدَهُمْ عَلَى أَنْفُسِهِمْ أَلَسْتُ بِرَبِّكُمْ قَالُوا بَلَى شَهِدْنَا أَنْ تَقُولُوا يَوْمَ الْقِيَمَةِ إِنَّا كُنَّا عَنْ هَذَا غَافِلِينَ ﴿١٧٢﴾

(Kementerian Agama, 2022)

“Dan (ingatlah) ketika Tuhanmu mengeluarkan dari sulbi anak cucu Adam keturunan mereka, lalu Dia menjadikan mereka menyaksikan terhadap diri mereka sendiri: ‘Bukankah Aku ini Tuhanmu?’ Mereka menjawab: ‘Benar, kami menjadi saksi.’” (QS. Al-A‘raf [7]: 172)

Melalui kesadaran akan perjanjian ini, seorang mukmin akan selalu berusaha meneguhkan ketaatannya kepada Allah dengan sepenuh hati. Ia menyadari bahwa seluruh amal perbuatannya merupakan wujud pemenuhan janji suci kepada Sang Pencipta. *Mu‘ahadah* menjadi langkah awal dalam menumbuhkan kesadaran spiritual menuju taqwa, karena di dalamnya terkandung komitmen untuk senantiasa memperbaharui niat dan tekad dalam menjalankan ketaatan. Seseorang yang senantiasa mengingat janji fitrahnya akan lebih berhati-hati dalam bertindak, menjauhi larangan, dan berusaha menunaikan kewajiban dengan penuh tanggung jawab sebagai bentuk penghambaan kepada Allah.

Langkah selanjutnya adalah *Muraqabah*. *Muraqabah* berarti menghadirkan kesadaran penuh akan kehadiran dan pengawasan Allah SWT dalam setiap waktu dan keadaan (Al-Qaradawi, 1997). Seorang yang memiliki *muraqabah* akan merasa bahwa Allah senantiasa melihat dan mengetahui segala gerak-geriknya, baik yang tampak maupun yang tersembunyi. Kesadaran ini menumbuhkan rasa malu untuk melakukan dosa serta mendorong seseorang untuk senantiasa melakukan amal kebaikan dan menjauhi perbuatan maksiat. Konsep ini sejalan dengan sabda Rasulullah saw. dalam hadits (An-Nawawi, 2008):

(الإِحْسَانُ أَنْ تَعْبُدَ اللَّهَ كَأَنَّكَ تَرَاهُ، فَإِنْ لَمْ تَكُنْ تَرَاهُ فَإِنَّهُ يَرَاكَ) رواه مسلم

“*Ihsan adalah engkau beribadah kepada Allah seakan-akan engkau melihat-Nya; jika engkau tidak melihat-Nya, maka sesungguhnya Dia melihatmu.*” (HR. Muslim no. 8).

Dengan memupuk sikap *muraqabah*, seorang mukmin akan senantiasa mengontrol perilakunya agar selalu berada dalam batas yang diridhai Allah. Ia akan beribadah dengan penuh keikhlasan, bekerja dengan amanah, serta menjaga lisan dan perbuatannya dari hal-hal yang sia-sia. Kesadaran akan pengawasan Allah inilah yang menjadi pondasi kuat dalam menumbuhkan dan mempertahankan ketakwaan, karena seseorang tidak akan berani berbuat dosa bila ia meyakini bahwa Allah selalu melihatnya di mana pun ia berada.

Langkah berikutnya adalah *Muhasabah*, yaitu melakukan evaluasi dan introspeksi terhadap diri sendiri. Muhasabah berasal dari kata *hasaba* yang berarti “menghitung” atau “menilai”. Dalam konteks spiritual, muhasabah berarti menilai diri atas segala amal, ucapan, dan niat, baik yang dilakukan secara sadar maupun tidak (Al-Qaradawi, 1997). Seorang mukmin yang senantiasa bermuhasabah akan mengetahui kekurangannya dalam beribadah dan berupaya memperbaikinya agar hidupnya senantiasa selaras dengan nilai-nilai ketakwaan. Dalam hadits disebutkan:

عَنْ عُمَرَ بْنِ الْخَطَّابِ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُ قَالَ: (حَاسِبُوا أَنْفُسَكُمْ قَبْلَ أَنْ تُحَاسَبُوا، وَزِنُوا أَنْفُسَكُمْ قَبْلَ أَنْ تُوزَنُوا، وَتَزَيَّنُوا لِلْعَرْضِ الْأَكْبَرِ، يَوْمَ تُعْرَضُونَ لَا تَخْفَى مِنْكُمْ خَافِيَةٌ.) رواه الإمام أحمد في الزهد والبيهقي في شعب الإيمان وذكره ابن القيم في مدارج السالكين

“*Hisablah diri kalian sebelum kalian dihisab, dan timbanglah amal kalian sebelum kalian ditimbang, serta berhiaslah untuk menghadapi hari besar di mana kalian akan dihadapkan (di hadapan Allah), pada hari ketika kalian akan ditampakkan, tiada sesuatu pun dari kalian yang tersembunyi.*” (Diriwayatkan oleh Imam Ahmad dalam az-Zuhd, al-Baihaqi dalam Syu‘abul Iman, dan disebutkan oleh Ibnul Qayyim dalam Madarijus Salikin.)

Pesan ini menekankan pentingnya refleksi diri sebelum tiba saat pertanggungjawaban di hadapan Allah. Melalui *muhasabah*, seorang hamba dapat menyadari kelemahan, menyesali kesalahan, serta meneguhkan tekad untuk tidak mengulangnya. Dengan demikian, muhasabah menjadi sarana yang efektif untuk memperbaiki diri, menjaga kemurnian niat, dan meningkatkan kualitas taqwa agar tidak mudah goyah oleh kelalaian dan hawa nafsu.

Tahap selanjutnya adalah *Mu'aqobah*. Istilah *Mu'aqobah* berasal dari kata '*aqaba*' yang berarti "menghukum" atau "menindaklanjuti". Dalam konteks spiritual, *Mu'aqobah* berarti memberikan hukuman atau tindakan disiplin terhadap diri sendiri ketika lalai atau melakukan kesalahan. Tujuannya bukan untuk menyiksa diri, melainkan sebagai bentuk pendidikan rohani agar seseorang jera dan lebih berhati-hati dalam berbuat dosa (Al-Qaradawi, 1997).

Sebagaimana firman Allah Swt. dalam QS. At-Tahrim [66]: 6 yang berbunyi:

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا قُوا أَنْفُسَكُمْ وَأَهْلِيكُمْ نَارًا وَقُودُهَا النَّاسُ وَالْحِجَارَةُ عَلَيْهَا مَلَائِكَةٌ غِلَاظٌ شِدَادٌ لَا يَعْصُونَ اللَّهَ مَا أَمَرَهُمْ وَيَفْعَلُونَ مَا يُؤْمَرُونَ ﴿٦﴾

(Kementerian Agama, 2022)

"Wahai orang-orang yang beriman, jagalah dirimu dan keluargamu dari api neraka yang bahan bakarnya adalah manusia dan batu. Penjaganya adalah malaikat-malaikat yang kasar dan keras. Mereka tidak durhaka kepada Allah terhadap apa yang Dia perintahkan kepadanya dan selalu mengerjakan apa yang diperintahkan." (QS. At-Tahrim [66]: 6).

Ayat ini menunjukkan bahwa setiap mukmin harus berusaha melindungi dirinya dari dosa dengan cara menegakkan disiplin dan menebus kelalaian melalui amal kebaikan. Sebagai contoh, seseorang yang lalai dari salat malam dapat menjatuhkan hukuman ringan bagi dirinya, seperti berpuasa *sunnah*, memperbanyak sedekah, atau memperbanyak zikir sebagai bentuk penebusan dan pengingat diri. Tindakan ini menjadi latihan spiritual agar hati tidak mudah

terbuai oleh kelalaian dan agar seseorang belajar menegakkan disiplin dalam ibadah. Al-Qaradawi (1997) menjelaskan bahwa *Mu‘aqobah* merupakan langkah lanjutan dari *muhasabah*, karena setelah seseorang mengetahui kekurangannya melalui introspeksi, ia perlu menindaklanjutinya dengan tindakan nyata agar dosa tidak terulang. Dengan demikian, *Mu‘aqobah* menjadi sarana efektif dalam menegakkan kendali diri dan memperkuat komitmen menuju ketakwaan sejati.

Tahap terakhir dalam pembinaan jiwa menurut Al-Qaradawi (1997) adalah *Mujahadah*, yaitu bersungguh-sungguh berjuang melawan hawa nafsu. Jika *Mu‘aqobah* merupakan bentuk disiplin diri melalui hukuman terhadap kelalaian, maka *Mujahadah* adalah upaya aktif dan terus-menerus untuk menundukkan dorongan hawa nafsu agar senantiasa tunduk kepada perintah Allah. Hawa nafsu merupakan penghalang utama antara manusia dan ketaatan kepada Allah, sehingga perjuangan melawannya menjadi inti dari proses mencapai derajat *taqwa*.

Mujahadah mencakup berbagai bentuk perjuangan spiritual, seperti menahan amarah, menjaga pandangan dari hal yang haram, menghindari kesenangan dunia yang berlebihan, serta menguatkan tekad dalam menjalankan ibadah meskipun berat. Allah menegaskan keutamaan orang yang bersungguh-sungguh dalam jalan-Nya melalui firman-Nya:

وَالَّذِينَ جَاهَدُوا فِينَا لَنَهْدِيَنَّهُمْ سُبُلَنَا وَإِنَّ اللَّهَ لَمَعَ الْمُحْسِنِينَ ﴿٦٩﴾

(Kementerian Agama, 2022)

“Dan orang-orang yang berjihad untuk (mencari keridaan) Kami, benar-benar akan Kami tunjukkan kepada mereka jalan-jalan Kami.” (QS. Al-‘Ankabut [29]: 69).

Ayat ini menunjukkan bahwa *mujahadah* bukan sekadar perjuangan fisik, tetapi juga perjuangan batin untuk menaklukkan hawa nafsu dan menjaga keteguhan iman. Melalui *mujahadah*, seorang hamba akan mencapai kebersihan jiwa dan keteguhan hati dalam beribadah, karena ia berusaha menundukkan keinginan dirinya semata-mata demi meraih keridhaan Allah. Dengan demikian, *mujahadah* menjadi puncak dari proses penyucian diri dan penyempurna langkah-langkah sebelumnya yang semuanya bermuara pada pembentukan pribadi *muttaqin*.

2.3 Kajian Topik dengan Teori Pendukung

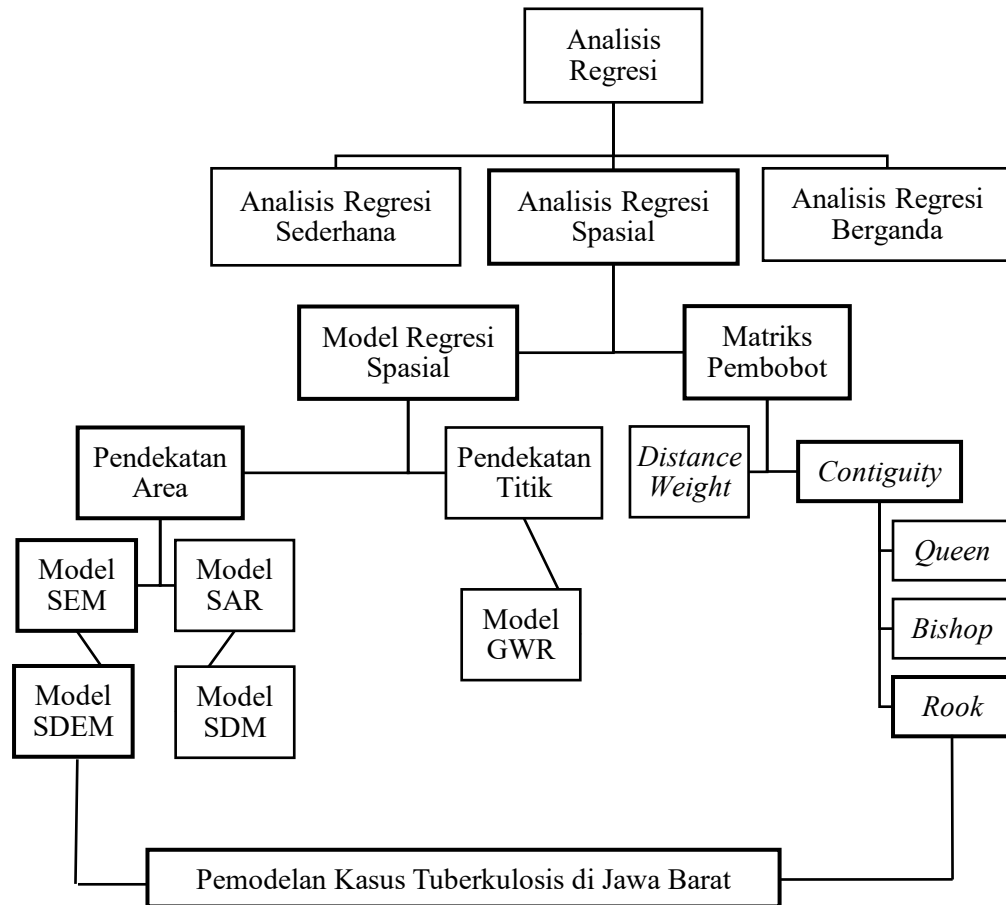
Regresi merupakan salah satu teknik analisis statistik yang digunakan untuk melihat hubungan ketergantungan antara variabel dependen dengan satu atau lebih variabel independen. Tujuan utama dari analisis ini adalah untuk mengestimasi maupun memprediksi nilai rata-rata populasi dari variabel dependen berdasarkan nilai variabel independen (Gujarati, 2003). Jenis regresi yang umum digunakan antara lain regresi sederhana, regresi berganda, serta regresi spasial.

Pada umumnya, analisis regresi klasik tidak mempertimbangkan adanya pengaruh kedekatan antarwilayah, sehingga hasilnya dapat mengabaikan aspek spasial yang mungkin penting. Oleh karena itu, dikembangkanlah model regresi spasial yang merupakan perluasan dari regresi linier konvensional dengan menambahkan unsur lokasi (Anselin, 1988). Dalam data spasial, pengamatan di suatu daerah sering kali memiliki keterkaitan dengan pengamatan di wilayah lain yang berdekatan secara geografis.

Regresi spasial dibedakan menjadi dua pendekatan utama, yaitu pendekatan titik (*point approach*) dan pendekatan area (*area approach*). Ciri khas dari model regresi spasial adalah adanya penggunaan matriks pembobot spasial yang berfungsi untuk menggambarkan hubungan kedekatan antarwilayah. Matriks pembobot ini dapat dibentuk berdasarkan kesamaan batas wilayah (*contiguity weight*) atau jarak antarwilayah (*distance weight*). Matriks *contiguity* sendiri dibagi menjadi tiga jenis, yaitu *rook contiguity* yang memperhitungkan kesamaan sisi batas antarwilayah, *bishop contiguity* yang memperhitungkan kesamaan titik batas antarwilayah, dan *queen contiguity* yang memperhitungkan kesamaan sisi maupun titik batas.

Model regresi spasial dengan pendekatan area di antaranya meliputi *Spatial Autoregressive Model* (SAR), *Spatial Error Model* (SEM), *Spatial Durbin Model* (SDM), serta *Spatial Durbin Error Model* (SDEM). Sementara itu, model yang menggunakan pendekatan titik adalah *Geographically Weighted Regression* (GWR).

Pada penelitian ini digunakan model *Spatial Durbin Error Model* (SDEM), yang merupakan bentuk pengembangan dari model SEM. Model ini tidak memasukkan efek *lag* spasial pada variabel dependen, tetapi memperbolehkan adanya *lag* spasial pada variabel independen serta efek autokorelasi spasial pada *error*. Estimasi parameter dalam model dilakukan dengan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE). Matriks pembobot spasial yang digunakan adalah jenis *rook contiguity*, karena penelitian ini memanfaatkan data kasus tuberkulosis (TBC) antar kabupaten/kota di Provinsi Jawa Barat, di mana hubungan kedekatan antarwilayah ditentukan berdasarkan kesamaan sisi batas administratif.



Gambar 2.1 Kerangka Berpikir

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini mengadopsi jenis penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif. Metode yang digunakan adalah analisis spasial menggunakan *Spatial Durbin Error Model*. Kemudian pendekatan deskriptif digunakan untuk memberi gambaran umum mengenai pola persebaran kasus tuberkulosis (TBC) di Jawa Barat.

3.2 Data dan Sumber Data

Penelitian ini memanfaatkan data sekunder yang diambil dari portal resmi Pemerintah Provinsi Jawa Barat, yaitu <https://opendata.jabarprov.go.id>. Sumber data tersebut mencakup informasi dari Dinas Kesehatan, Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil, serta Badan Pusat Statistik Jawa Barat, yang kemudian digunakan sebagai dasar analisis penelitian. Data meliputi jumlah kasus tuberkulosis (TBC) pada setiap kota/kabupaten di Jawa Barat beserta faktor-faktor yang diduga memengaruhinya yaitu jumlah kepadatan penduduk, jumlah penduduk miskin, jumlah penduduk yang memiliki akses terhadap sanitasi layak, jumlah penduduk PHBS, jumlah tenaga kesehatan, jumlah balita gizi buruk, dan jumlah penderita HIV/AIDS. Data yang digunakan bersifat *cross section* (hanya mencakup satu periode waktu) yaitu data pada tahun 2024.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel dependen (Y) dan variabel independen (X) pada penelitian ini bersifat numerik dengan satuan pengukuran yang berbeda-beda. Adapun variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

Variabel	Nama Variabel	Satuan	Keterangan
Y	Kasus TBC	%	Persentase kasus TBC di setiap kota/kabupaten di Jawa Barat.
A	Wilayah	-	Nama-nama kabupaten/kota di Provinsi Jawa Barat.
X_1	Rasio Jenis Kelamin Penduduk	-	Perbandingan jumlah penduduk laki-laki terhadap jumlah penduduk perempuan yang dinyatakan per 100 penduduk perempuan di setiap kabupaten/kota di Jawa Barat.
X_2	Penduduk Miskin	%	Persentase penduduk miskin di setiap kabupaten/kota di Jawa Barat.
X_3	Sanitasi Layak	%	Persentase penduduk yang memiliki akses terhadap sanitasi layak di setiap kabupaten/kota di Jawa Barat.
X_4	PHBS	%	Persentase penduduk yang memiliki perilaku hidup bersih dan sehat di setiap kabupaten/kota di Jawa Barat.
X_5	Tenaga Kesehatan	%	Persentase tenaga kesehatan di setiap kabupaten/kota di Jawa Barat.

X_6	Balita Gizi Buruk	%	Persentase balita dengan kategori gizi buruk di setiap kabupaten/kota di Jawa Barat.
X_7	Penderita HIV/AIDS	%	Persentase kasus HIV/AIDS di setiap kabupaten/kota di Jawa Barat.

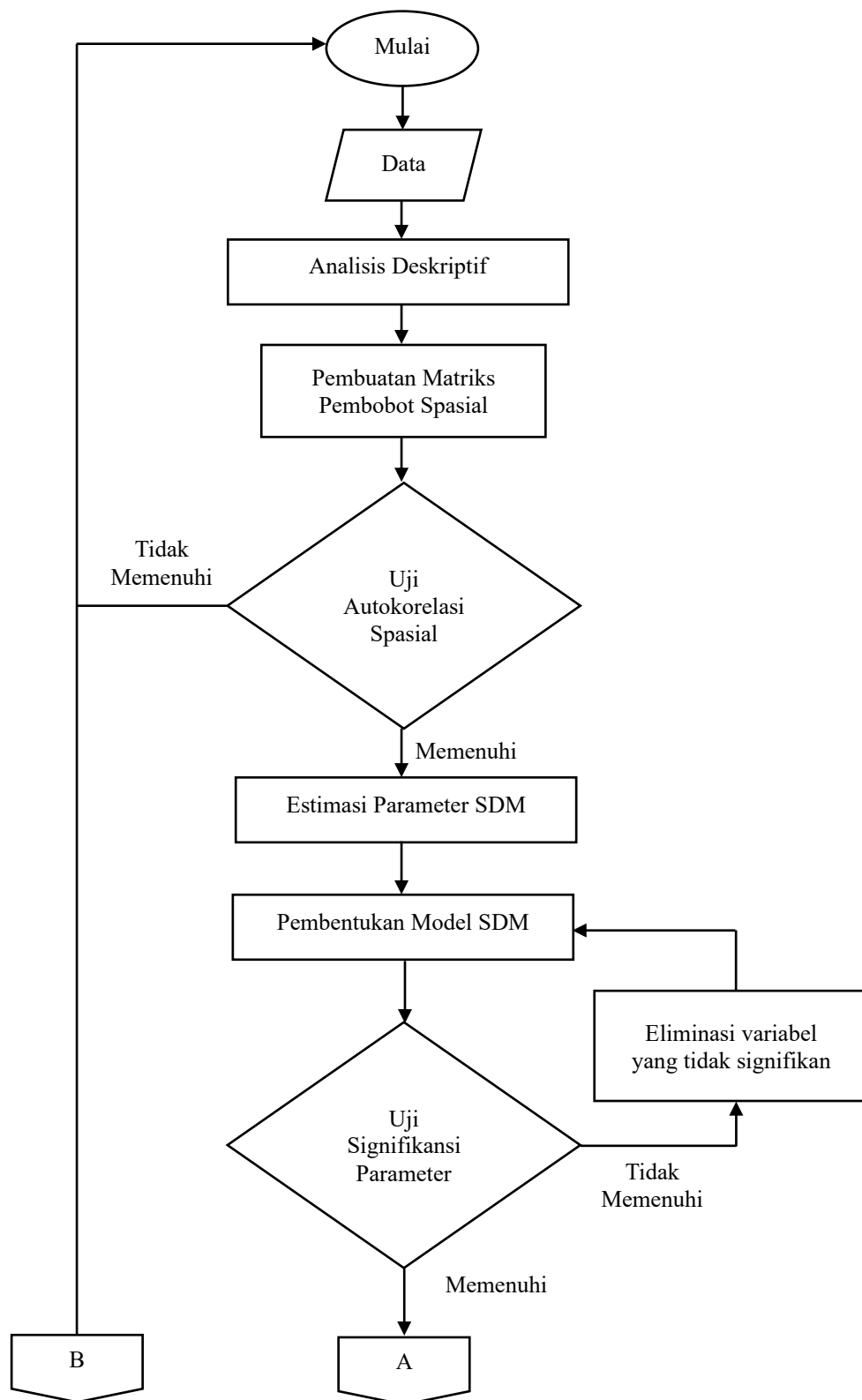
3.4 Tahapan Penelitian

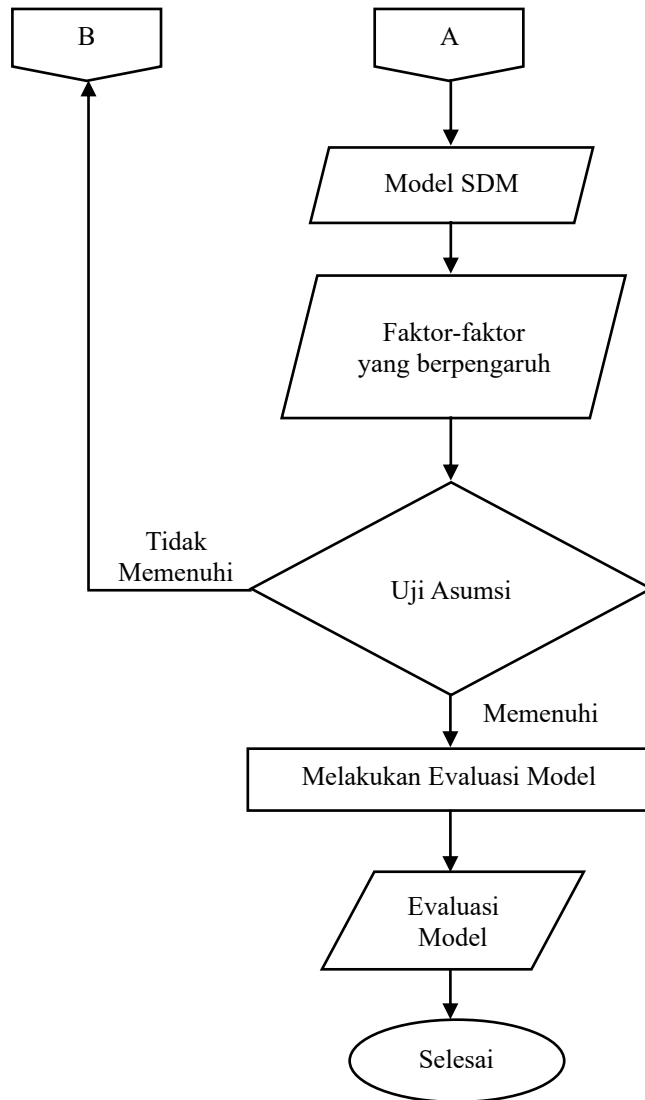
Tahapan-tahapan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengumpulkan data beserta *shape file* kota/kabupaten di Jawa Barat.
2. Melakukan praproses data, meliputi pemeriksaan kelengkapan data, penanganan *missing value*, penyesuaian nama wilayah agar sesuai dengan *shapefile*, dan penggabungan data atribut dengan data spasial
3. Melakukan analisis deskriptif statistik untuk melihat gambaran umum penyebaran kasus TBC di setiap kota/kabupaten Jawa Barat.
4. Membangun matriks pembobot spasial dengan Persamaan (2.7) menggunakan metode *Rook Contiguity* untuk merepresentasikan hubungan kedekatan antar wilayah yang berbatasan langsung.
5. Melakukan uji autokorelasi spasial menggunakan Indeks Moran dengan Persamaan (2.8) untuk mendeteksi ada tidaknya pola spasial pada kasus TBC di Jawa Barat.
6. Mengestimasi parameter λ dengan Persamaan (2.29), kemudian mengestimasi parameter δ yang merupakan vektor berisi α, β dan θ menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) dengan Persamaan (2.30).

7. Melakukan uji signifikansi parameter λ , β dan θ menggunakan uji *Wald* dengan Persamaan (2.32), (2.33), dan (2.34) untuk mengetahui apakah parameter dalam model SDEM berpengaruh signifikan terhadap jumlah kasus TBC di Jawa Barat.
8. Membangun model regresi *Spatial Durbin Error Model* (SDEM) seperti Persamaan (2.13) serta menentukan faktor-faktor yang berpengaruh signifikan terhadap kasus TBC di Jawa Barat, berdasarkan hasil uji signifikansi parameter. Variabel yang memiliki nilai *p – value* lebih kecil dari tingkat signifikansi dianggap berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah kasus TBC.
9. Melakukan uji asumsi pada model yang diperoleh yaitu uji normalitas menggunakan *Kolmogorov-Smirnov* dengan Persamaan (2.35), uji heterogenitas spasial menggunakan uji *Breusch–Pagan* dengan Persamaan (2.36) dan uji autokorelasi spasial menggunakan Indeks Moran dengan Persamaan (2.8).
10. Mengukur kebaikan model menggunakan koefisien determinasi terkoreksi (*Adjusted R²*) dengan Persamaan (2.38) untuk menilai kebaikan model SDEM dalam menjelaskan variasi kasus TBC.
11. Melakukan interpretasi hasil model, mencakup arah pengaruh variabel signifikan (positif atau negatif), besarnya pengaruh, serta implikasi spasial dari hasil analisis dan menarik kesimpulan.

3.5 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram Alir

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Deskriptif

Pada penelitian ini, unit analisis yang digunakan adalah 27 kota/kabupaten di Provinsi Jawa Barat. Visualisasi batas administratif wilayah penelitian dibuat menggunakan *software* RStudio sebagai dasar untuk melakukan analisis spasial. Gambar berikut menunjukkan peta wilayah Provinsi Jawa Barat yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 4.1 Peta Provinsi Jawa Barat

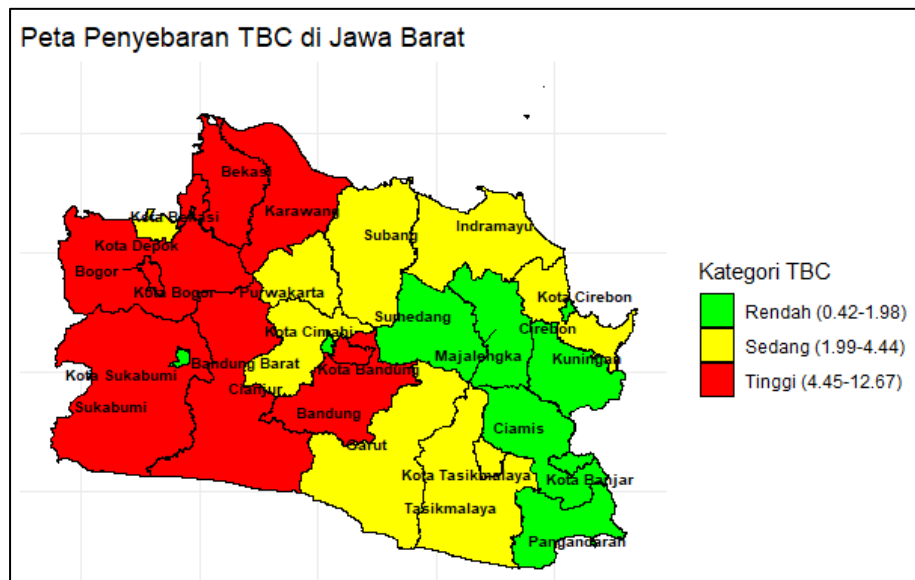
Sebelum dilakukan analisis lebih lanjut, terlebih dahulu dilakukan analisis deskriptif dan pemetaan untuk memperoleh gambaran yang lebih jelas mengenai setiap variabel serta pembagian wilayah kota/kabupaten di Provinsi Jawa Barat. Analisis ini bertujuan untuk melihat pola awal penyebaran kasus TBC antarwilayah. Hasil analisis deskriptif ditampilkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Analisis Deskriptif Variabel Penelitian

Variabel	Min	Max	Mean	Standar Deviasi
Y	0.42	12.67	3.7	1.46
X_1	99.5	104.8	101.7	2.44
X_2	2.34	11.93	8.01	2.65
X_3	45.88	99.08	75.7	16.92
X_4	45.48	84.67	67.87	10.03
X_5	0.86	8.48	3.7	1.82
X_6	1.60	17.08	5.44	4.04
X_7	0.42	12.13	3.7	2.98

Pada Tabel 4.1 disajikan nilai minimum, maksimum, rata-rata (mean), dan standar deviasi dari setiap variabel penelitian. Sebagai contoh, pada variabel X_2 yaitu Persentase Penduduk Miskin, nilai minimum sebesar 2.34%, yang menunjukkan bahwa terdapat kabupaten/kota di Provinsi Jawa Barat dengan persentase penduduk miskin paling rendah sebesar 2.34%. Sementara itu, nilai maksimum sebesar 11.93% menunjukkan adanya wilayah dengan persentase penduduk miskin tertinggi mencapai 11.93%. Nilai rata-rata sebesar 8.01% menunjukkan bahwa secara umum persentase penduduk miskin di kabupaten/kota di Jawa Barat berada pada kisaran 8.01%, dengan standar deviasi sebesar 2.65% yang menunjukkan adanya variasi antarwilayah dalam persentase penduduk miskin.

Berikut merupakan gambaran peta dan grafik pola penyebaran Penderita TBC berdasarkan Kabupaten/Kota di Provinsi Jawa Barat tahun 2024.



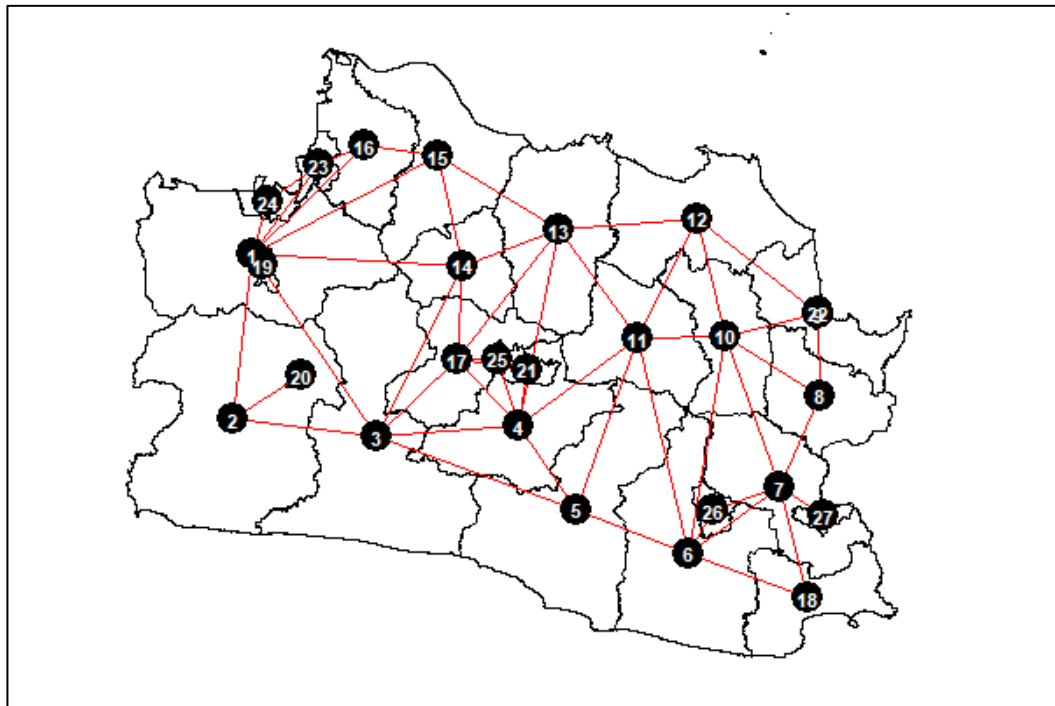
Gambar 4.2 Penyebaran TBC di Jawa Barat

Berdasarkan peta pada Gambar 4.2, dapat diketahui bahwa persentase kasus TBC di wilayah Jawa Barat memiliki variasi yang diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Pengelompokan kategori pada peta dilakukan menggunakan metode kuantil (*quantile classification*). Metode kuantil membagi data yang telah diurutkan dari nilai terkecil hingga terbesar ke dalam sejumlah kelompok dengan jumlah observasi yang relatif sama pada setiap kelompok. Dalam penelitian ini, data persentase kasus TBC dari 27 kabupaten/kota di Provinsi Jawa Barat dibagi menjadi tiga kelompok, sehingga setiap kelompok berisi sekitar 9 wilayah. Setelah seluruh data diurutkan, batas kelas ditentukan berdasarkan posisi kuantil ke-1 dan kuantil ke-2. Hasil perhitungan menghasilkan titik batas sebesar 1,98 dan 4,44. Dengan demikian, wilayah dengan persentase kasus TBC sebesar 0,42–1,98 dikategorikan rendah, wilayah dengan persentase kasus TBC lebih dari 1,98–4,44 dikategorikan sedang, dan wilayah dengan persentase kasus TBC lebih dari 4,44–12,67 dikategorikan tinggi. Warna hijau menunjukkan wilayah dengan persentase kasus TBC rendah, yang meliputi Kabupaten Ciamis, Kabupaten Kuningan, Kabupaten Majalengka, Kabupaten

Sumedang, Kabupaten Pangandaran, Kota Sukabumi, Kota Cirebon, Kota Cimahi, dan Kota Banjar. Warna kuning menunjukkan wilayah dengan persentase kasus TBC sedang, yaitu Kabupaten Garut, Kabupaten Tasikmalaya, Kabupaten Cirebon, Kabupaten Indramayu, Kabupaten Subang, Kabupaten Purwakarta, Kabupaten Bandung Barat, Kota Depok, dan Kota Tasikmalaya. Sementara itu, warna merah menunjukkan wilayah dengan persentase kasus TBC tinggi yang meliputi Kabupaten Bogor, Kabupaten Sukabumi, Kabupaten Cianjur, Kabupaten Bandung, Kabupaten Karawang, Kabupaten Bekasi, Kota Bogor, Kota Bandung, dan Kota Bekasi.

4.2 Matriks Pembobot Spasial

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, matriks pembobot spasial untuk wilayah Jawa Barat disusun menggunakan pendekatan *Rook Contiguity*. Pada metode ini, dua wilayah dianggap bertetangga apabila berbagi batas sisi yang sama. Proses pembentukan bobot dilakukan dengan memperhatikan garis batas antarwilayah, misalnya Kabupaten Bandung yang berbatasan langsung melalui sisi dengan Bandung Barat dan Sumedang. Jika dua wilayah memiliki batas sisi yang bersinggungan, maka diberikan bobot 1, sedangkan wilayah yang tidak memiliki persinggungan sisi diberi bobot 0. Prosedur yang sama diterapkan pada seluruh wilayah di Jawa Barat sehingga terbentuk matriks pembobot spasial yang menggambarkan struktur ketetanggaan antarwilayah. Hasil penetapan ketetanggaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Peta Ketetanggaan Matriks Pembobot *Rook Contiguity*

Dari hasil ketetanggaan Provinsi Jawa Barat pada Gambar 4.3 dapat dirincikan sebagai Tabel 4.2. Pada Tabel 4.2 dapat diketahui jumlah ketetanggaan setiap daerah. Dari seluruh wilayah setidaknya memiliki satu daerah tetangga, seperti pada Kota Bogor (A19), Kota Sukabumi (A20), Kota Cirebon (A22), dan Kota Banjar (A27) yang masing-masing hanya memiliki satu tetangga. Daerah dengan jumlah ketetanggaan paling banyak terdapat pada Bogor (A1) dengan 8 tetangga. Daerah tetangga tersebut di antaranya yaitu Sukabumi (A2), Cianjur (A3), Purwakarta (A14), Karawang (A15), Bekasi (A16), Kota Bogor (A19), Kota Bekasi (A23), dan Kota Depok (A24). Informasi mengenai hubungan ketetanggaan antarwilayah pada Tabel 4.2 kemudian digunakan untuk menyusun matriks pembobot spasial. Bobot antar wilayah yang terbentuk disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.2 Ketetanggaan Wilayah di Provinsi Jawa Barat

No	Kota/Kabupaten	Jumlah Tetangga	Tetangga
1	Bogor (A1)	8	A2, A3, A14, A15, A16, A19, A23, A24
2	Sukabumi (A2)	3	A1, A3, A20
3	Cianjur (A3)	6	A1, A2, A4, A5, A14, A17
4	Bandung (A4)	7	A3, A5, A11, A13, A17, A21, A25
5	Garut (A5)	4	A3, A4, A6, A11
6	Tasikmalaya (A6)	6	A5, A7, A10, A11, A18, A26
7	Ciamis (A7)	6	A6, A8, A10, A18, A26, A27
8	Kuningan (A8)	3	A7, A9, A10
9	Cirebon (A9)	4	A8, A10, A12, A22
10	Majalengka (A10)	6	A6, A7, A8, A9, A11, A12
11	Sumedang (A11)	6	A4, A5, A6, A10, A12, A13
12	Indramayu (A12)	4	A9, A10, A11, A13
13	Subang (A13)	6	A4, A11, A12, A14, A15, A17
14	Purwakarta (A14)	5	A1, A3, A13, A15, A17
15	Karawang (A15)	4	A1, A13, A14, A16
16	Bekasi (A16)	3	A1, A15, A23
17	Bandung Barat (A17)	6	A3, A4, A13, A14, A21, A25
18	Pangandaran (A18)	2	A6, A7
19	Kota Bogor (A19)	1	A1
20	Kota Sukabumi (A20)	1	A2
21	Kota Bandung (A21)	3	A4, A17, A25
22	Kota Cirebon (A22)	1	A9
23	Kota Bekasi (A23)	3	A1, A16, A24
24	Kota Depok (A24)	2	A1, A23
25	Kota Cimahi (A25)	3	A4, A17, A21
26	Kota Tasikmalaya (A26)	2	A6, A7
27	Kota Banjar (A27)	1	A7

Tabel 4.3 Bobot Antar Wilayah di Kab/Kota Jawa Barat

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	...	A27
A1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0
A2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0
A3	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	...	0
A4	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	...	0
A5	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	...	0
A6	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	...	0
A7	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	...	1
A8	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	...	0
A9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	...	0
A10	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	...	0
A11	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	...	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A27	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	...	0

Selanjutnya yaitu dibuat dalam bentuk matriks pembobot spasial belum terstandarisasi dengan baris dan kolom sejumlah 27.

$$W^* = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

Pada hasil ini, matriks pembobot yang terbentuk masih belum mencerminkan besarnya pengaruh relatif antarwilayah bertetangga. Oleh karena itu, dilakukan proses standarisasi dengan memberikan porsi yang setara bagi wilayah-wilayah yang bertetangga terhadap suatu wilayah tertentu. Proses standarisasi dilakukan

dengan membagi setiap elemen matriks dengan jumlah ketetanggaan pada setiap baris.

$$W = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{8} & \frac{1}{8} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \frac{1}{3} & 0 & \frac{1}{3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{6} & 0 & \frac{1}{6} & \frac{1}{6} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{7} & 0 & \frac{1}{7} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & 0 & \frac{1}{4} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{6} & 0 & \frac{1}{6} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{6} & 0 & \frac{1}{6} & \dots & \frac{1}{6} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{3} & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

Lebih lengkapnya, pada Lampiran 2 disajikan hasil matriks pembobot spasial sebelum dan sesudah proses standardisasi secara lebih rinci.

4.3 Uji Autokorelasi Spasial

Pengujian autokorelasi spasial dilakukan menggunakan Indeks Moran dengan Persamaan (2.9). Berikut langkah-langkah uji Indeks Moran.

1. Hipotesis:

H_0 : Tidak terdapat autokorelasi spasial

H_1 : Terdapat autokorelasi spasial

2. Kriteria uji:

Tingkat signifikansi $\alpha = 10\%$. Tolak H_0 jika $|Z_{hitung}| > Z_{\frac{\alpha}{2}}$ di mana $Z_{\frac{0.1}{2}} =$

$Z_{0.05} = 1.645$.

3. Statistik uji:

Berikut perhitungan pada variabel Y .

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^{27} (x_i - \bar{x})^2} \\
 &= \frac{27 \sum_{i=1}^{27} \sum_{j=1}^{27} w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{27} \sum_{j=1}^{27} w_{ij} \sum_{i=1}^{27} (y_i - \bar{y})^2} \\
 &= \frac{27[(w_{11}(y_1 - \bar{y})(y_1 - \bar{y})) + (w_{12}(y_1 - \bar{y})(y_2 - \bar{y}) + \dots + (w_{27,27}(y_{27} - \bar{y})(y_{27} - \bar{y})))]}{(w_{11} + w_{12} + w_{13} + \dots + w_{27,27})((y_1 - \bar{y})^2 + (y_2 - \bar{y})^2 + \dots + (y_{27} - \bar{y})^2)} \\
 &= \frac{27[(0(12.67 - 3.7)(12.67 - 3.7)) + (0.125(12.67 - 3.7)(5.4 - 3.7) + \dots + (0(0.66 - 3.7)(0.66 - 3.7)))]}{(0 + 0.125 + 0.125 + \dots + 0)((12.67 - 3.7)^2 + (5.4 - 3.7)^2 + \dots + (0.66 - 3.7)^2)} \\
 &\approx 0.384
 \end{aligned}$$

Langkah berikutnya yaitu menghitung nilai ekspektasi Indeks Moran ($E(I)$) dengan rumus pada Persamaan (2.10).

$$\begin{aligned}
 E(I) &= -\frac{1}{n-1} \\
 &= -\frac{1}{27-1} \\
 &\approx -0.038
 \end{aligned}$$

Selanjutnya menghitung nilai varians Indeks Moran ($Var(I)$) dengan rumus pada Persamaan (2.11).

$$Var(I) = \frac{n^2 \left(\frac{1}{2} \sum_{i \neq j}^n (w_{ij} + w_{ji})^2 \right) - n \left(\sum_{i \neq j}^n (\sum_{i=1}^n w_{ij} + \sum_{j=1}^n w_{ji})^2 \right) + 3 \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \right)^2}{(n^2 - 1) \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \right)^2} - [E(I)]^2$$

Sederhanakan menjadi

$$Var(I) = \frac{n^2(S_1) - n(S_2) + 3(S_3)^2}{(n^2 - 1)(S_3)^2} - [E(I)]^2$$

Pertama hitung bagian S_1

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

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{2} \left[(w_{12} + w_{21})^2 + (w_{13} + w_{31})^2 + \dots + (w_{1n} + w_{n1})^2 + \dots + (w_{23} + w_{32})^2 + \dots \right. \\
&\quad \left. + (w_{2n} + w_{n2})^2 + \dots + (w_{(n-1),n} + w_{n,(n-1)})^2 \right] \\
&= \frac{1}{2} \left[(w_{12} + w_{21})^2 + (w_{13} + w_{31})^2 + \dots + (w_{1,27} + w_{27,1})^2 + \dots + (w_{23} + w_{32})^2 + \dots \right. \\
&\quad \left. + (w_{2,27} + w_{27,2})^2 + \dots + (w_{26,27} + w_{27,26})^2 \right] \\
&= \frac{1}{2} \left[(0.125 + 0.333)^2 + (0.125 + 0.167)^2 + \dots + (0 + 0)^2 + \dots \right. \\
&\quad \left. + (0.333 + 0.167)^2 + \dots + (0 + 0)^2 + \dots + (0 + 0)^2 \right] \\
&= 15.10964
\end{aligned}$$

Selanjutnya hitung S_2

$$S_2 = \sum_{i=1}^{27} \left(\sum_{j=1}^{27} w_{ij} + \sum_{j=1}^{27} w_{ji} \right)^2$$

Untuk $i = 1$

$$\begin{aligned}
\left(\sum_{j=1}^{27} w_{1j} + \sum_{j=1}^{27} w_{j1} \right)^2 &= \left((w_{11} + w_{12} + \dots + w_{1,27}) + (w_{11} + w_{21} + \dots + w_{27,1}) \right)^2 \\
&= \left((0 + 0.125 + \dots + 0) + (0 + 0.333 + \dots + 0) \right)^2 \\
&= 16.94
\end{aligned}$$

Untuk $i = 2$

$$\begin{aligned}
\left(\sum_{j=1}^{27} w_{2j} + \sum_{j=1}^{27} w_{j2} \right)^2 &= \left((w_{21} + w_{22} + \dots + w_{2,27}) + (w_{12} + w_{22} + \dots + w_{27,2}) \right)^2 \\
&= \left((0.333 + 0 + \dots + 0) + (0.125 + 0 + \dots + 0) \right)^2 \\
&= 5.25
\end{aligned}$$

$\vdots$

Untuk $i = 27$

$$\left(\sum_{j=1}^{27} w_{27j} + \sum_{j=1}^{27} w_{j27} \right)^2 = \left((w_{27,1} + w_{27,2} + \dots + w_{27,27}) + (w_{1,27} + w_{2,27} + \dots + w_{27,27}) \right)^2$$

$$\begin{aligned}
&= ((0 + 0 + \dots + 0) + (0 + 0 + \dots + 0))^2 \\
&= 1.36
\end{aligned}$$

Sehingga diperoleh

$$\begin{aligned}
S_2 &= \sum_{i=1}^{27} \left(\sum_{j=1}^{27} w_{ij} + \sum_{j=1}^{27} w_{ji} \right)^2 \\
&= 16.94 + 5.25 + \dots + 1.36 \\
&= 121.57
\end{aligned}$$

Kemudian hitung bagian S_3

$$\begin{aligned}
S_3 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \\
&= w_{11} + w_{12} + w_{13} + \dots + w_{27,27} \\
&= 27
\end{aligned}$$

Akhirnya didapat

$$\begin{aligned}
Var(I) &= \frac{n^2(S_1) - n(S_2) + 3(S_3)^2}{(n^2 - 1)(S_3)^2} - [E(I)]^2 \\
&= \frac{27^2(15.10964) - 27(121.57) + 3(27)^2}{(27^2 - 1)(27)^2} - [-0.038]^2 \\
&= 0.017247
\end{aligned}$$

Terakhir menghitung nilai Z_{hitung} dengan rumus pada Persamaan (2.8).

$$\begin{aligned}
Z_{hitung} &= \frac{I - E(I)}{\sqrt{Var(I)}} \\
&= \frac{0.384 - (-0.038)}{\sqrt{0.017247}} \\
&= 3.217
\end{aligned}$$

4. Keputusan

Karena $|Z_{hitung}| > Z_{0.05}$ yaitu $3.217 > 1.645$, maka tolak H_0 yang artinya terdapat aurokorelasi spasial.

4.4 Pemodelan *Spatial Durbin Error Model*

Selanjutnya dilakukan pemodelan *Spatial Durbin Error Model* (SDEM) seperti Persamaan (2.13). Pada model tersebut, $\mathbf{Y}$ merupakan vektor variabel dependen berukuran 27×1 , $\mathbf{X}$ merupakan matriks variabel independen berukuran 27×7 , dan $\mathbf{W}$ merupakan matriks pembobot spasial berukuran 27×27 . Secara matematis, model yang diperoleh dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 y_i = & \alpha + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \beta_3 x_{i3} + \beta_4 x_{i4} + \beta_5 x_{i5} + \beta_6 x_{i6} + \beta_7 x_{i7} + \theta_1 \sum_{j=1}^{27} w_{ij} x_{j1} \\
 & + \theta_2 \sum_{j=1}^{27} w_{ij} x_{j2} + \theta_3 \sum_{j=1}^{27} w_{ij} x_{j3} + \theta_4 \sum_{j=1}^{27} w_{ij} x_{j4} + \theta_5 \sum_{j=1}^{27} w_{ij} x_{j5} \\
 & + \theta_6 \sum_{j=1}^{27} w_{ij} x_{j6} + \theta_7 \sum_{j=1}^{27} w_{ij} x_{j7} + u_i
 \end{aligned}$$

dengan

$$u_i = \lambda \sum_{j=1}^{27} w_{ij} u_j + \varepsilon_i$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai estimasi parameter model SDEM menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE). Pada metode ini, estimasi parameter λ dihitung menggunakan Persamaan (2.29), sedangkan estimasi parameter δ yang merupakan vektor yang terdiri atas α , β , dan θ dihitung menggunakan Persamaan (2.30). Hasil perhitungan keseluruhan parameter yang

diperoleh kemudian digunakan sebagai dasar dalam pembentukan model SDEM dan pengujian signifikansi parameter. Hasil estimasi parameter dapat dilihat pada Tabel 4.4, sedangkan *output* perhitungan menggunakan *software* RStudio disajikan pada Lampiran 7.

Tabel 4.4 Hasil Estimasi Parameter Model SDEM

Parameter	Koefisien	Std. Error
α	-47.1237	40.0518
β_1	0.7859	0.1366
β_2	-0.4291	0.1233
β_3	-0.0172	0.0266
β_4	-0.0030	0.0243
β_5	0.3481	0.1565
β_6	-0.0610	0.0657
β_7	0.4202	0.0923
θ_1	-0.2216	0.4280
θ_2	0.5023	0.2633
θ_3	-0.0094	0.0520
θ_4	-0.0875	0.0531
θ_5	-0.1784	0.4874
θ_6	-0.2899	0.1872
θ_7	0.1252	0.2467
λ	-1.1944	0.0997

Kemudian, dilakukan uji signifikansi parameter untuk mendapatkan variabel independen dan *lag* variabel independen yang berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen menggunakan uji *Wald* dengan persamaan (2.32), (2.33), dan (2.34). Perhitungan statistik uji *Wald* menggunakan tingkat signifikansi $\alpha = 0.1$ dengan parameter yang signifikan yaitu tolak H_0 jika nilai $Wald > \chi^2_{\alpha,1}$ atau $p -$

$value < \alpha$. Hasil uji *Wald* dapat dilihat pada Tabel 4.5. Berdasarkan Tabel 4.5, diketahui bahwa terdapat beberapa parameter yang tidak signifikan.

Tabel 4.5 Hasil Uji Signifikansi Parameter SDEM

Parameter	Wald	$\chi^2_{0.1,1}$	Keputusan
α	1.3844	2.706	Tidak signifikan
β_1	33.1212	2.706	Signifikan
β_2	12.1064	2.706	Signifikan
β_3	0.4199	2.706	Tidak signifikan
β_4	0.0155	2.706	Tidak signifikan
β_5	4.9438	2.706	Signifikan
β_6	0.8597	2.706	Tidak signifikan
β_7	20.7289	2.706	Signifikan
θ_1	0.2679	2.706	Tidak signifikan
θ_2	3.6382	2.706	Signifikan
θ_3	0.0325	2.706	Tidak signifikan
θ_4	2.7199	2.706	Signifikan
θ_5	0.1339	2.706	Tidak signifikan
θ_6	2.3995	2.706	Tidak signifikan
θ_7	0.2578	2.706	Tidak signifikan
λ	143.5200	2.706	Signifikan

Selanjutnya dilakukan seleksi variabel menggunakan metode *stepwise*. Pada setiap tahap, signifikansi masing-masing variabel dievaluasi. Variabel yang tidak signifikan akan dikeluarkan dari model, kemudian dilakukan estimasi ulang dan pengujian kembali terhadap variabel yang masih tersisa. Proses ini dilakukan secara bertahap hingga diperoleh model dengan variabel-variabel yang signifikan. Karena nilai koefisien dan statistik uji dapat berubah setelah dilakukan estimasi ulang, parameter yang sebelumnya tidak signifikan dapat menjadi signifikan pada iterasi berikutnya. Hasil model akhir ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Estimasi dan Uji Signifikansi Setelah *Looping*

Parameter	Koefisien	Wald	$\chi^2_{0.1,1}$	Keputusan
α	-60.2107	36.7648	2.706	Signifikan
β_1	0.6814	49.2678	2.706	Signifikan
β_2	-0.3894	15.3946	2.706	Signifikan
β_3	-0.0173	2.9344	2.706	Signifikan
β_5	0.2245	4.1841	2.706	Signifikan
β_7	0.4648	35.1321	2.706	Signifikan
θ_2	0.4369	6.0060	2.706	Signifikan
θ_4	-0.0788	5.0742	2.706	Signifikan
θ_6	-0.3527	10.8188	2.706	Signifikan
λ	-1.1405	95.9080	2.706	Signifikan

Pada Tabel 4.6 dapat diketahui bahwa seluruh parameter dalam model signifikan, sehingga model SDEM yang terbentuk sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 y_i = & -60.2107 + 0.6814x_{i1} - 0.3894x_{i2} - 0.0173x_{i3} + 0.2245x_{i5} \\
 & + 0.4648x_{i7} + 0.4369 \sum_{j=1}^{27} w_{ij}x_{j2} - 0.0788 \sum_{j=1}^{27} w_{ij}x_{j4} \\
 & - 0.3527 \sum_{j=1}^{27} w_{ij}x_{j6} + u_i
 \end{aligned}$$

dengan

$$u_i = -1.1405 \sum_{j=1}^{27} w_{ij}u_j + \varepsilon_i$$

Berdasarkan hasil pemodelan, diperoleh persamaan yang menunjukkan bahwa variabel rasio jenis kelamin penduduk, persentase penduduk miskin, sanitasi layak, tenaga kesehatan, dan persentase penderita HIV/AIDS berpengaruh terhadap kasus TBC di setiap kabupaten/kota di Provinsi Jawa Barat. Nilai konstanta sebesar -60,2107 mengindikasikan bahwa apabila seluruh variabel independen bernilai nol,

maka kasus TBC diperkirakan sebesar -60,2107%. Koefisien variabel rasio jenis kelamin penduduk sebesar 0,6814 menunjukkan bahwa setiap kenaikan 1 satuan rasio jenis kelamin penduduk akan meningkatkan kasus TBC sebesar 0,6814%, dengan asumsi variabel lain konstan. Variabel penduduk miskin memiliki koefisien sebesar -0,3894, yang berarti setiap kenaikan 1% penduduk miskin cenderung menurunkan kasus TBC sebesar 0,3894%, yang diduga terjadi karena pada wilayah dengan tingkat kemiskinan tinggi masih terdapat keterbatasan akses fasilitas kesehatan sehingga banyak kasus TBC yang tidak terdeteksi (*under reporting*). Variabel sanitasi layak memiliki koefisien sebesar -0,0173, yang menunjukkan bahwa peningkatan 1% akses sanitasi layak akan menurunkan kasus TBC sebesar 0,0173%. Selanjutnya, variabel tenaga kesehatan memiliki koefisien sebesar 0,2245, yang berarti peningkatan 1% tenaga kesehatan akan meningkatkan kasus TBC sebesar 0,2245%, yang diduga karena semakin banyak tenaga kesehatan maka proses skrining, diagnosis, dan pelaporan kasus TBC menjadi lebih optimal sehingga lebih banyak kasus yang terdeteksi. Sementara itu, variabel persentase penderita HIV/AIDS memiliki koefisien sebesar 0,4648, yang menunjukkan bahwa setiap kenaikan 1% penderita HIV/AIDS akan meningkatkan kasus TBC sebesar 0,4648%.

Selain pengaruh langsung, model juga menunjukkan adanya pengaruh spasial (*spillover effect*) dari wilayah tetangga. Koefisien *lag* spasial pada variabel penduduk miskin sebesar 0,4369 mengindikasikan bahwa peningkatan rata-rata 1% penduduk miskin di wilayah sekitar akan meningkatkan kasus TBC pada suatu wilayah sebesar 0,4369%. Selanjutnya, koefisien *lag* spasial pada variabel PHBS sebesar -0,0788 menunjukkan bahwa peningkatan rata-rata 1% PHBS di wilayah

tetangga akan menurunkan kasus TBC pada suatu wilayah sebesar 0,0788%. Adapun koefisien *lag* spasial pada variabel balita gizi buruk sebesar -0,3527 menunjukkan bahwa peningkatan rata-rata 1% balita gizi buruk di wilayah sekitar akan menurunkan kasus TBC sebesar 0,3527%, yang diduga terjadi karena wilayah dengan kasus gizi buruk tinggi cenderung memiliki keterbatasan akses pemeriksaan kesehatan sehingga kasus TBC di wilayah tersebut maupun wilayah sekitarnya tidak seluruhnya terdeteksi.

Selanjutnya, komponen *error* spasial dalam model ditunjukkan oleh parameter λ sebesar -1,1405. Nilai ini menunjukkan adanya ketergantungan spasial pada *error* antar wilayah. Tanda negatif pada λ menunjukkan bahwa *error* pada suatu wilayah memiliki hubungan berlawanan arah dengan *error* wilayah tetangganya.

4.5 Uji Asumsi Model

Dilakukan uji asumsi normalitas dan heterokedastisitas spasial.

1. Normalitas

Berikut hasil uji normalitas menggunakan *Kolmogorov-Smirnov*.

H_0 : Residual berdistribusi normal

H_1 : Residual tidak berdistribusi normal

Perhitungan statistik uji *Kolmogorov-Smirnov* menggunakan Persamaan (2.35) dengan menggunakan tingkat signifikansi $\alpha = 0.1$ maka lokasi kritis yaitu tolak H_0 jika $D > D_{n,\alpha}$ atau $p - value < \alpha$ yang berarti *error* tidak berdistribusi normal. Hasil statistik uji dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 4.7 Hasil Uji Normalitas

Uji <i>Kolmogorov-Smirnov</i>			
Nilai Uji D	$D_{27,0.1}$	$p - value$	Keputusan
0.08017	0.22898	0.9894	Terima H_0

Berdasarkan uji *Kolmogorov-Smirnov* pada Tabel 4.7 dapat diketahui bahwa nilai uji $D = 0.08017 < D_{27,0.1} = 0.22898$ dan nilai $p - value = 0.9894 > \alpha = 0.1$. Keputusan yang diambil yaitu terima H_0 , yang berarti *error* berdistribusi normal, sehingga asumsi normalitas terpenuhi. *Output* pengujian normalitas menggunakan *software* RStudio dapat dilihat pada Lampiran 7, sedangkan nilai $D_{27,0.1}$ dapat dilihat pada tabel distribusi *Kolmogorov-Smirnov* di Lampiran 5.

2. Heterogenitas Spasial

Berikut hasil uji heterogenitas spasial menggunakan *Breusch-Pagan*.

H_0 : Tidak terdapat heterogenitas spasial

H_1 : Terdapat heterogenitas spasial

Perhitungan statistik uji *Breusch-Pagan* menggunakan Persamaan (2.36) dengan menggunakan tingkat signifikansi $\alpha = 0.1$ maka lokasi kritis yaitu Tolak H_0 jika nilai $BP > \chi_k^2$ atau $p - value < \alpha$. Hasil statistik uji sebagai berikut.

Tabel 4.8 Hasil Uji Heterogenitas Spasial

Uji <i>Breusch-Pagan</i>			
Nilai Uji BP	$\chi_{0.1,8}^2$	$p - value$	Keputusan
8.452	13.36	0.3906	Terima H_0

Berdasarkan uji *Breusch-Pagan* pada Tabel 4.8 dapat diketahui bahwa nilai uji BP = 8.452 < $\chi_{0.1,8}^2 = 13.36$ dan nilai $p - value = 0.3906 > \alpha = 0.1$.

Keputusan yang diambil yaitu terima H_0 , yang berarti tidak terdapat heteroskedastisitas pada model, sehingga asumsi homoskedastisitas terpenuhi. *Output* pengujian *Breusch-Pagan* menggunakan *software* RStudio dapat dilihat pada Lampiran 7, sedangkan nilai $\chi^2_{0.1,8}$ dapat dilihat pada tabel distribusi *Chi-Square* di Lampiran 6.

3. Autokorelasi Spasial

Berikut hasil uji autokorelasi spasial menggunakan Indeks Moran.

H_0 : Tidak terdapat autokorelasi spasial

H_1 : Terdapat autokorelasi spasial

Perhitungan statistik uji Indeks Moran menggunakan Persamaan (2.8) dengan menggunakan tingkat signifikansi $\alpha = 0.1$ maka lokasi kritis yaitu tolak H_0 jika $|Z_{hitung}| > Z_{\frac{\alpha}{2}}$ atau $p - value < \alpha$ yang berarti tidak terdapat autokorelasi spasial. Hasil statistik uji dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 4.9 Hasil Uji Autokorelasi Spasial

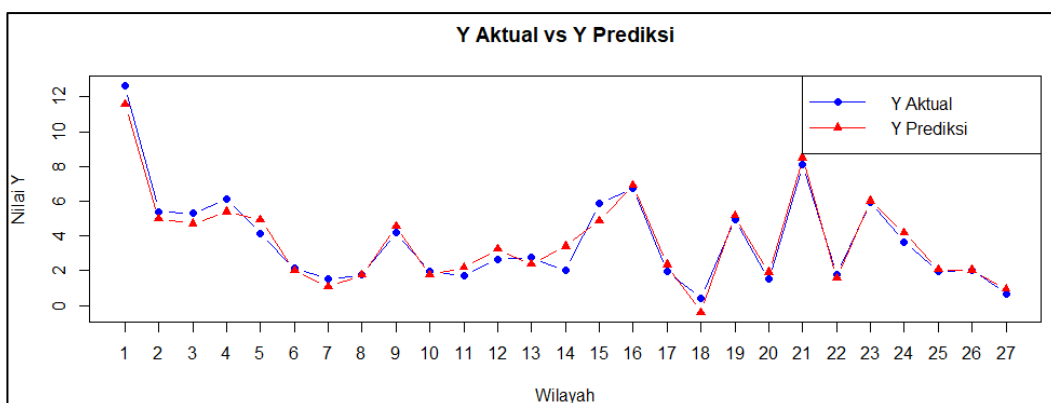
Uji Indeks Moran			
$ Z_{hitung} $	$Z_{0.05}$	$p - value$	Keputusan
1.1906	1.645	0.8831	Terima H_0

Berdasarkan uji Indeks Moran pada Tabel 4.9 dapat diketahui bahwa nilai uji $|Z_{hitung}| = 1.1906 < Z_{0.05} = 1.645$ dan nilai $p - value = 0.8831 > \alpha = 0.1$. Keputusan yang diambil yaitu terima H_0 , yang berarti tidak terdapat autokorelasi spasial, sehingga asumsi autokorelasi terpenuhi. *Output* pengujian autokorelasi spasial menggunakan *software* RStudio dapat dilihat pada Lampiran 7, sedangkan nilai $Z_{0.05}$ dapat dilihat pada tabel distribusi normal Z di Lampiran 4.

4.6 Uji Kebaikan Model

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan Persamaan (2.38), diperoleh nilai *Adjusted R²* sebesar 0.9368382. Hal ini menunjukkan bahwa model SDEM yang digunakan mampu menjelaskan variasi pada variabel dependen, yaitu kasus TBC sebesar 93.68%, sedangkan sisanya sebesar 6.32% dipengaruhi oleh faktor lain di luar model. Hasil *output* perhitungan koefisien determinasi terkoreksi (*Adjusted R²*) dengan bantuan *software* RStudio dapat dilihat pada Lampiran 7.

Selanjutnya dilakukan visualisasi perbandingan data asli dengan data prediksi berdasarkan model yang diperoleh dengan bantuan *software* RStudio.



Gambar 4.4 Perbandingan Data Aktual dengan Data Prediksi

Hasil visualisasi Gambar 4.4 menunjukkan bahwa nilai prediksi model SDEM cenderung mengikuti pola nilai aktual pada sebagian besar wilayah, yang ditandai dengan kedekatan antara garis Y prediksi dan Y aktual. Hal ini mengindikasikan bahwa model yang diperoleh memiliki kemampuan yang cukup baik dalam merepresentasikan variasi persentase kasus TBC antar wilayah.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan rumusan masalah dan hasil pembahasan sebelumnya, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Model regresi *Spatial Durbin Error Model* (SDEM) pada kasus TBC di Jawa Barat pada tahun 2024 yang terbentuk yaitu

$$\begin{aligned} y_i = & -60.2107 + 0.6814x_{i1} - 0.3894x_{i2} - 0.0173x_{i3} + 0.2245x_{i5} \\ & + 0.4648x_{i7} + 0.4369 \sum_{j=1}^{27} w_{ij}x_{j2} - 0.0788 \sum_{j=1}^{27} w_{ij}x_{j4} \\ & - 0.3527 \sum_{j=1}^{27} w_{ij}x_{j6} + u_i \end{aligned}$$

dengan

$$u_i = -1.1405 \sum_{j=1}^{27} w_{ij}u_j + \varepsilon_i$$

2. Faktor-faktor yang berpengaruh signifikan terhadap kasus TBC di kabupaten/kota di Provinsi Jawa Barat adalah rasio jenis kelamin penduduk, persentase penduduk miskin, akses sanitasi layak, tenaga kesehatan, serta persentase penderita HIV/AIDS. Selain itu, terdapat pula pengaruh signifikan dari faktor spasial, yaitu rata-rata persentase penduduk miskin, PHBS, dan balita gizi buruk di wilayah tetangga. Parameter *error* spasial yang signifikan juga menunjukkan adanya ketergantungan spasial pada *error*, sehingga mengindikasikan bahwa faktor-faktor lain yang memengaruhi kasus TBC

tidak hanya berasal dari dalam wilayah itu sendiri, tetapi juga dipengaruhi oleh kondisi wilayah di sekitarnya.

3. Model SDEM yang diperoleh memiliki nilai *Adjusted R²* sebesar 0.9368382, yang menunjukkan bahwa variabel rasio jenis kelamin penduduk, persentase penduduk miskin, akses sanitasi layak, tenaga kesehatan, persentase penderita HIV/AIDS, serta faktor spasial rata-rata persentase penduduk miskin, PHBS, dan balita gizi buruk dari wilayah tetangga mampu menjelaskan sebesar 93,68% variasi persentase kasus TBC di kabupaten/kota Provinsi Jawa Barat, sedangkan sisanya sebesar 6.32% dijelaskan oleh faktor lain di luar model.

5.2 Saran

Penelitian ini memiliki beberapa saran dari penulis antara lain.

1. Bagi pemerintah daerah dan dinas kesehatan, perlu dilakukan peningkatan upaya pencegahan dan pengendalian TBC dengan memberikan perhatian khusus pada faktor-faktor yang terbukti berpengaruh signifikan, seperti kondisi kemiskinan, akses sanitasi layak, ketersediaan tenaga kesehatan, serta penanganan kasus HIV/AIDS. Program intervensi dapat difokuskan pada wilayah dengan tingkat kasus TBC yang tinggi agar penanggulangan yang dilakukan lebih efektif dan tepat sasaran.
2. Bagi masyarakat, diharapkan dapat meningkatkan kesadaran dalam mencegah penularan TBC dengan menerapkan perilaku hidup bersih dan sehat (PHBS), menjaga kebersihan lingkungan dan sanitasi rumah, serta segera memeriksakan diri ke fasilitas kesehatan apabila mengalami gejala

TBC. Selain itu, masyarakat juga diharapkan aktif mengikuti program pemeriksaan dan penyuluhan kesehatan yang diselenggarakan oleh tenaga kesehatan untuk mendukung upaya pengendalian TBC.

3. Peneliti selanjutnya disarankan untuk menggunakan jenis matriks pembobot spasial lain, seperti *queen contiguity* atau *distance-based weighting*, sebagai pembandingan terhadap matriks *rook* yang digunakan dalam penelitian ini, sehingga dapat diketahui matriks pembobot yang paling sesuai dalam memodelkan kasus TBC.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Ghazali. (1980). *Ihya' Ulumiddin: IV*. Dar al-Kutub al-'Ilmiyyah.
- Al-Jurjānī. (1983). *At-Ta'rifāt*. Dār al-Kutub al-'Ilmiyyah.
- Al-Qaradawi, Y. (1997). *Tazkiyatun Nafs: Membersihkan Jiwa Menurut Pandangan Islam*. Terj. Abdul Hayyie al-Kattani. Gema Insani Press.
- Al-Tirmidzi, M. 'Īsā. (1998). *Sunan al-Tirmidī*. Dār al-Gharb al-Islāmī.
- Andayani, S. (2020). Prediksi Kejadian Penyakit Tuberkulosis Paru Berdasarkan Jenis Kelamin. *Jurnal Keperawatan Muhammadiyah Bengkulu*, 8(2), 135–140. <https://doi.org/10.36085/jkmu.v8i2.1063>
- An-Nawawi, I. (2008). *Hadis Arbain Nawawi: 40 Hadis Pokok Islam* (Terj. Abu Abdillah). Pustaka Azzam.
- Anselin, L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models* (Vol. 4). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7799-1>
- Arega, B., Mersha, A., Minda, A., Getachew, Y., Sitotaw, A., Gebeyehu, T., & Agunie, A. (2020). Epidemiology and The Diagnostic Challenge of Extra-Pulmonary Tuberculosis in A Teaching Hospital in Ethiopia. *PLoS ONE*, 15(12 December). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243945>
- Arif, A., Tiro, M. A., & Nusrang, M. (2019). Perbandingan Matriks Pembobot Spasial Optimum dalam Spatial Error Model (SEM) (Kasus: Indeks Pembangunan Manusia Kabupaten/Kota di Provinsi Sulawesi Selatan Tahun 2015). *VARIANSI: Journal of Statistics and Its application on Teaching and Research*, 1(2), 32. <https://doi.org/10.35580/variensiunm12895>
- As-Suyuthi, J., & Al-Mahalli, J. (2007). *Tafsir Jalalain: Tafsir Al-Qur'an Lengkap 30 Juz* (Terj. Bahrūn Abubakar). Sinar Baru Algensindo.
- Badan Pusat Statistik. (2025). *Jawa Barat Dalam Angka 2025*. <https://jabar.bps.go.id/id/publication/2025/02/28/d906b36c4b300ab77908dfe2/provinsi-jawa-barat-dalam-angka-2025.html>
- Bukhari, M. I. (2002). *Ṣaḥīḥ al-Bukhārī* (Vol. 1–9). Dār Ṭawq al-Najāh.
- Ervin, Kusnandar, D., & Imro'ah, N. (2021). Pemodelan Data Garis Kemiskinan di Pulau Kalimantan dengan Pendekatan Spatial Durbin Error Model (SDEM). *Buletin Ilmiah Mat. Stat. dan Terapannya (Bimaster)*, 10(4), 397–406.

- Ghozali, I. (2018). Analisis Multivariate Program IBM SPSS 25 (9th Editio). *Badan Penerbit Universitas Diponegoro*.
- Goldfeld, S. M., & Quandt, R. E. (1965). Some tests for homoscedasticity. *Journal of the American statistical Association*, 60(310), 539–547.
- Gujarati, D. N. (2003). *Basic Econometrics* (4 ed.). McGraw-Hill.
- Hamka. (2001). *Tafsir Al-Azhar : XII*. Pustaka Panjimas.
- Ibn Katsir. (2000). *Tafsīr al-Qur’ān al- ‘Aẓīm*. Dār al-Ḥadīth.
- Ibn Manzhūr. (1990). *Lisān al- ‘Arab*. Dār Ṣādir.
- Ibn Qayyim al-Jauziyyah. (2005). *Madarij as-Salikin*. Dar al-Kutub al-‘Ilmiyyah.
- Ibn Rajab al-Hanbalī. (1997). *Jāmi ‘ al- ‘Ulūm wa al-Ḥikam*. Dār al-Salām.
- Kementerian Agama. (2022). *Al-Qur’an dan Terjemahannya*. Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur’an Badan Litbang Diklat Kementerian Agama RI.
- Kholifia, N., Rahardjo, S., Muksar, M., Atikah, N., & Afifah, D. L. (2021). Spatial analysis of factors influencing Gross Regional Domestic Product (GRDP) in East Java: A Spatial Durbin Error Model Analysis. *Journal of Physics: Conference Series*, 1918(4). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1918/4/042044>
- Kolloli, A., Kumar, R., Venketaraman, V., & Subbian, S. (2024). Immunopathology of Pulmonary Mycobacterium tuberculosis Infection in a Humanized Mouse Model. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(3). <https://doi.org/10.3390/ijms25031656>
- Lesage, J. P. (1999). *The Theory and Practice of Spatial Econometrics*. <http://www.econ.utoledo.edu>
- LeSage, J., & Pace, R. K. (2009). *Introduction to Spatial Econometrics*. Boca Raton, Taylor & Francis Group.
- Mar, Z., & Nabila, A. (2025). Penerapan Spatial Error Model (SEM) Dalam Menganalisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Stunting Balita Di Indonesia. *Jurnal EKSPONENSIAL*, 16(1). <https://doi.org/10.30872/eksponensial.v16i1.1465>
- Muslim, I. al-Ḥajjāj. (2006). *Ṣaḥīḥ Muslim* (Vol. 1–5). Dār Iḥyā’ al-Turāth al- ‘Arabī.

- Nasiti, K. T., Luthfi, Z. J., Ummah, K., Brilliant, I. I., & Setiawan, E. P. (2025). Faktor-Faktor Penentu Prevalensi Stunting di Nusa Tenggara Barat: Analisis Spasial dengan Modifikasi Ketetanggaan. *Jambura J. Probab. Stat.*, 6(1), 1–6. <https://doi.org/10.34312/jjps.v6i1.24714>
- Pai, M., Behr, M. A., Dowdy, D., Dheda, K., Divangahi, M., Boehme, C. C., Ginsberg, A., Swaminathan, S., Spigelman, M., Getahun, H., Menzies, D., & Raviglion, M. (2016). Tuberculosis. *Nature Reviews Disease Primers*, 2. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2016.76>
- Quthb, S. (2003). *Fi Zhilalil Qur'an (Di Bawah Naungan Al-Qur'an)*. Dar al-Syuruq.
- Raharjo, M. (2021). Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kejadian Tuberkulosis: Sebuah Review. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 13(1), 20–25. <http://journalsanitasi.keslingjogja.net/index.php/sanitasi>
- Raspati, R. S., Herrhyanto, N., & Agustina, F. (2024). Penerapan Spatial Durbin Model (SDM) Untuk Menganalisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Persentase Penduduk Miskin di Kabupaten Cianjur Tahun 2021. *Jurnal EurekaMatika*, 12(1). <https://ejournal.upi.edu/index.php/JEM>
- Reho, S., Imro'ah, N., & Aprizkiyandari, S. (2024). Pemodelan Spatial Econometrics Menggunakan Spatial Durbin Error Model pada Data IPM Di Kalimantan Barat. *Buletin Ilmiah Math. Stat. dan Terapannya (Bimaster)*, 13(2), 219–228.
- Revildy, W. D., Lestari, S. S. S., & Nalita, Y. (2020). Pemodelan Spatial Error Model (SEM) Angka Prevalensi Balita Pendek (Stunting) di Indonesia Tahun 2018. *Seminar Nasional Official Statistics 2020: Statistics in The New Normal: A Challenge of Big Data and Official Statistics*.
- Sari, S. A. P., Astuti, D., & Widyastuti, R. (2023). Identifikasi Faktor Risiko Terhadap Terjadinya Penyakit Tuberculosis. *CoMPHI Journal: Community Medicine and Public Health of Indonesia Journal*, 4(2).
- Shihab, M. Q. (1996). *Wawasan Al-Qur'an: Tafsir Maudhu'i atas Pelbagai Persoalan Umat*. Mizan.
- Sulasih, I. G. A. D., Susilawati, M., & Suciptawati, N. L. P. (2021). Pemodelan Kasus Diare di Provinsi Bali dengan Metode Analisis Regresi Spasial. *E-*

Jurnal Matematika, 10(2), 95.
<https://doi.org/10.24843/mtk.2021.v10.i02.p327>

- Susanto Sipayung, J., Hidayat, W., & Silitonga, E. M. (2023). Faktor Risiko yang Memengaruhi Kejadian Tuberkulosis (TB) Paru di Wilayah Kerja Puskesmas Perbaungan. *Jurnal Ilmiah Kesehatan Masyarakat*, 15(2), 2023.
- Utami, A. S., Yundari, & Imro'ah, N. (2022). Perbandingan Beberapa Matriks Pembobot dalam Spatial Error Model pada IPM Pulau Kalimantan Tahun 2020. *Buletin Ilmiah Math. Stat. dan Terapannya (Bimaster)*, 11(5), 767–776.
- World Health Organization. (2024). *Laporan Hasil Studi Inventori TB Indonesia 2023–2024*. <https://www.who.int/indonesia/id/publications/m/item/laporan-hasil-studi-inventori-tb-indonesia-2023-2024>
- Yasin, H., Hakim, A. R., & Warsito, B. (2020). *Regresi Spasial (Aplikasi dengan R)*. Wade Group.
- Zebua, H. I., & Jaya, I. G. N. M. (2022). Spatial Autoregressive to Model Tuberculosis Cases in Central Java Province in 2019. *CAUCHY - Jurnal Matematika Murni dan Aplikasi*, 7(2), 240–248.
<https://doi.org/10.18860/ca.v7i1.13451>
- Zidni, R. M., Humairoh, N. L., Nabilah, P. P., & Widodo, E. (2021). Penerapan Spatial Error Model (SEM) untuk Mengetahui Faktor-Faktor yang Memengaruhi Kriminalitas Studi Kasus di Provinsi Jawa Tengah. *Seminar Nasional Official Statistics*.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Penelitian

Kab/Kota	Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
Kab. Bogor	12.67	104.80	7.05	67.18	52.66	7.43	1.91	12.13
Kab. Sukabumi	5.40	102.40	6.87	51.90	68.00	3.78	8.98	4.13
Kab. Cianjur	5.31	104.30	10.14	63.30	76.27	3.22	2.51	3.25
Kab. Bandung	6.10	103.20	6.19	69.12	64.24	4.11	8.87	3.45
Kab. Garut	4.14	104.30	9.68	49.99	60.23	4.22	11.67	3.61
Kab. Tasikmalaya	2.13	102.20	10.23	54.68	48.24	2.46	9.20	1.11
Kab. Ciamis	1.51	99.70	7.39	77.12	73.68	2.06	2.52	1.46
Kab. Kuningan	1.76	102.40	11.88	84.64	67.45	2.78	6.08	1.50
Kab. Cirebon	4.17	102.20	11.00	87.92	75.11	5.48	5.93	5.63
Kab. Majalengka	1.97	100.30	10.82	83.61	71.65	2.53	3.10	2.34
Kab. Sumedang	1.71	101.20	9.10	77.32	59.69	2.25	7.32	1.63
Kab. Indramayu	2.65	100.40	11.93	97.27	61.63	3.24	2.49	7.09
Kab. Subang	2.75	99.80	9.49	90.29	71.38	2.50	1.60	3.74
Kab. Purwakarta	2.04	102.60	8.41	83.01	73.47	2.39	1.77	2.54
Kab. Karawang	5.87	101.70	7.86	85.99	64.48	5.51	1.81	3.28
Kab. Bekasi	6.73	102.10	4.80	89.16	80.48	6.86	1.70	8.13
Kab. Bandung Barat	1.99	103.70	10.49	54.02	64.93	2.32	4.95	0.78
Kab. Pangandaran	0.42	99.50	8.75	90.30	84.67	1.10	1.95	0.42
Kota Bogor	4.97	102.30	6.53	71.49	73.11	3.87	2.32	5.89
Kota Sukabumi	1.51	100.70	7.20	45.88	45.48	1.54	5.85	2.15
Kota Bandung	8.11	100.40	3.87	55.90	76.81	10.79	8.85	9.92
Kota Cirebon	1.79	100.60	9.02	95.38	73.33	2.31	13.04	1.17
Kota Bekasi	5.94	100.50	4.01	99.08	65.03	6.61	2.89	6.96
Kota Depok	3.67	100.90	2.34	98.76	77.67	5.30	3.58	3.58
Kota Cimahi	1.96	101.40	4.39	76.44	67.80	2.21	2.76	1.76
Kota Tasikmalaya	2.04	102.10	11.10	53.16	53.33	2.24	17.08	1.89
Kota Banjar	0.66	100.70	5.85	91.07	81.76	0.89	6.07	0.49

Lampiran 2 Matriks Pembobot Tidak Terstandardisasi

[illegible]

Lampiran 3 Matriks Pembobot Terstandarisasi

[illegible]

Lampiran 4 Tabel Distribusi Normal Z

z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7703	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
α	0.400	0.300	0.200	0.100	0.050	0.025	0.020	0.010	0.005	0.001
z_α	0.253	0.524	0.842	1.282	1.645	1.960	2.054	2.326	2.576	3.090
$z_{\alpha/2}$	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.240	2.326	2.576	2.807	3.291

Lampiran 5 Tabel Nilai Kritis *Kolmogorov-Smirnov*

Number of trials, n	Level of significance, α			
	0.10	0.05	0.02	0.01
1	0.95000	0.97500	0.99000	0.99500
2	0.77639	0.84189	0.90000	0.92929
3	0.63604	0.70760	0.78456	0.82900
4	0.56522	0.62394	0.68887	0.73424
5	0.50945	0.56328	0.62718	0.66853
6	0.46799	0.51926	0.57741	0.61661
7	0.43607	0.48342	0.53844	0.57581
8	0.40962	0.45427	0.50654	0.54179
9	0.38746	0.43001	0.47960	0.51332
10	0.36866	0.40925	0.45662	0.48893
11	0.35242	0.39122	0.43670	0.46770
12	0.33815	0.37543	0.41918	0.44905
13	0.32549	0.36143	0.40362	0.43247
14	0.31417	0.34890	0.38970	0.41762
15	0.30397	0.33760	0.37713	0.40420
16	0.29472	0.32733	0.36571	0.39201
17	0.28627	0.31796	0.35528	0.38086
18	0.27851	0.30936	0.34569	0.37062
19	0.27136	0.30143	0.33685	0.36117
20	0.26473	0.29408	0.32866	0.35241
21	0.25858	0.28724	0.32104	0.34427
22	0.25283	0.28087	0.31394	0.33666
23	0.24746	0.27490	0.30728	0.32954
24	0.24242	0.26931	0.30104	0.32286
25	0.23768	0.26404	0.29516	0.31657
26	0.23320	0.25907	0.28962	0.31064
27	0.22898	0.25438	0.28438	0.30502
28	0.22497	0.24993	0.27942	0.29971
29	0.22117	0.24571	0.27471	0.29466
30	0.21756	0.24170	0.27023	0.28987
31	0.21412	0.23788	0.26596	0.28530
32	0.21085	0.23424	0.26189	0.28094
33	0.20771	0.23076	0.25801	0.27677
34	0.20472	0.22743	0.25429	0.27279
35	0.20185	0.22425	0.26073	0.26897
36	0.19910	0.22119	0.24732	0.26532
37	0.19646	0.21826	0.24404	0.26180
38	0.19392	0.21544	0.24089	0.25843
39	0.19148	0.21273	0.23786	0.25518
40 ^a	0.18913	0.21012	0.23494	0.25205

Lampiran 6 Tabel Distribusi *Chi-Square*

	$P(X \leq x)$							
	0.010	0.025	0.050	0.100	0.900	0.950	0.975	0.990
r	$\chi^2_{0.99}(r)$	$\chi^2_{0.975}(r)$	$\chi^2_{0.95}(r)$	$\chi^2_{0.90}(r)$	$\chi^2_{0.10}(r)$	$\chi^2_{0.05}(r)$	$\chi^2_{0.025}(r)$	$\chi^2_{0.01}(r)$
1	0.000	0.001	0.004	0.016	2.706	3.841	5.024	6.635
2	0.020	0.051	0.103	0.211	4.605	5.991	7.378	9.210
3	0.115	0.216	0.352	0.584	6.251	7.815	9.348	11.34
4	0.297	0.484	0.711	1.064	7.779	9.488	11.14	13.28
5	0.554	0.831	1.145	1.610	9.236	11.07	12.83	15.09
6	0.872	1.237	1.635	2.204	10.64	12.59	14.45	16.81
7	1.239	1.690	2.167	2.833	12.02	14.07	16.01	18.48
8	1.646	2.180	2.733	3.490	13.36	15.51	17.54	20.09
9	2.088	2.700	3.325	4.168	14.68	16.92	19.02	21.67
10	2.558	3.247	3.940	4.865	15.99	18.31	20.48	23.21
11	3.053	3.816	4.575	5.578	17.28	19.68	21.92	24.72
12	3.571	4.404	5.226	6.304	18.55	21.03	23.34	26.22
13	4.107	5.009	5.892	7.042	19.81	22.36	24.74	27.69
14	4.660	5.629	6.571	7.790	21.06	23.68	26.12	29.14
15	5.229	6.262	7.261	8.547	22.31	25.00	27.49	30.58
16	5.812	6.908	7.962	9.312	23.54	26.30	28.84	32.00
17	6.408	7.564	8.672	10.08	24.77	27.59	30.19	33.41
18	7.015	8.231	9.390	10.86	25.99	28.87	31.53	34.80
19	7.633	8.907	10.12	11.65	27.20	30.14	32.85	36.19
20	8.260	9.591	10.85	12.44	28.41	31.41	34.17	37.57
21	8.897	10.28	11.59	13.24	29.62	32.67	35.48	38.93
22	9.542	10.98	12.34	14.04	30.81	33.92	36.78	40.29
23	10.20	11.69	13.09	14.85	32.01	35.17	38.08	41.64
24	10.86	12.40	13.85	15.66	33.20	36.42	39.36	42.98
25	11.52	13.12	14.61	16.47	34.38	37.65	40.65	44.31
26	12.20	13.84	15.38	17.29	35.56	38.88	41.92	45.64
27	12.88	14.57	16.15	18.11	36.74	40.11	43.19	46.96
28	13.56	15.31	16.93	18.94	37.92	41.34	44.46	48.28
29	14.26	16.05	17.71	19.77	39.09	42.56	45.72	49.59
30	14.95	16.79	18.49	20.60	40.26	43.77	46.98	50.89
40	22.16	24.43	26.51	29.05	51.80	55.76	59.34	63.69
50	29.71	32.36	34.76	37.69	63.17	67.50	71.42	76.15
60	37.48	40.48	43.19	46.46	74.40	79.08	83.30	88.38
70	45.44	48.76	51.74	55.33	85.53	90.53	95.02	100.4
80	53.34	57.15	60.39	64.28	96.58	101.9	106.6	112.3

Lampiran 7 Output Menggunakan RStudio

```

> #Library
> library(sf)
> library(readxl)
> library(spdep)
> library(spatialreg)
> #Masukkan Data
> jabar <- st_read("D:/KULIAH/SKRIPSI/shp/JABAR/RBI_50K_2023_Jawa Barat.shp")
Reading layer `RBI_50K_2023_Jawa Barat' from data source
`D:\KULIAH\SKRIPSI\shp\JABAR\RBI_50K_2023_Jawa Barat.shp' using driver `ESRI
Shapefile'
Simple feature collection with 27 features and 5 fields
Geometry type: MULTIPOLYGON
Dimension: XY
Bounding box: xmin: 106.3703 ymin: -7.82099 xmax: 108.8468 ymax: -5.806538
Geodetic CRS: WGS 84
> RAW_data <- read_excel("D:/KULIAH/SKRIPSI/SEMHAS/RAW%.xlsx")
> RAW_data$id <- as.character(RAW_data$id)
> jabar2 <- merge(
+ jabar,
+ RAW_data,
+ by.x = "KDPKAB",
+ by.y = "id",
+ all.x = TRUE)
> View(jabar2)
> #Statistika Deskriptif
> vars <- c("Y", "X1", "X2", "X3", "X4", "X5", "X6", "X7")
> data_num <- st_drop_geometry(jabar2)
> sapply(data_num[, vars], function(x) {
+ c(min = min(x, na.rm=TRUE),
+ max = max(x, na.rm=TRUE),
+ mean = mean(x, na.rm=TRUE),
+ sd = sd(x, na.rm=TRUE))})

```

	Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6
min	0.4214504	99.50000	2.340000	45.88000	45.48000	0.888143	1.600000
max	12.6739898	104.80000	11.930000	99.08000	84.67000	10.789490	17.080000
mean	3.7037037	101.71852	8.014444	75.70296	67.87333	3.703704	5.437037
sd	2.7172150	1.46446	2.648566	16.92372	10.03325	2.250917	4.044474

```


```

	X7
min	0.422764
max	12.130080
mean	3.703704
sd	2.975310

```

> #Matriks Pembobot
> nb_rook <- poly2nb(jabar2, queen = FALSE)
> W <- nb2mat(nb_rook, style = "W")
> listw_rook <- nb2listw(nb_rook, style = "W")
> #Uji Autokorelasi Spasial
> moran.test(jabar2$Y, listw_rook)

Moran I test under randomisation

data: jabar2$Y
weights: listw_rook

Moran I statistic standard deviate = 3.2168, p-value = 0.0006482
alternative hypothesis: greater
sample estimates:
Moran I statistic      Expectation      Variance
      0.38398688      -0.03846154      0.01724651

> #Model SDEM

```

```

> vars_x <- c("X1", "X2", "X3", "X4", "X5", "X6", "X7")
> X_mat <- as.matrix(data_num[, vars_x])
> mode(X_mat) <- "numeric"
> WX <- lag.listw(listw_rook, X_mat)
> colnames(WX) <- paste0("W", vars_x)
> data_model <- cbind(data_num, WX)
> model_sdem <- errorsarlm(
+   Y ~ X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + X6 + X7 +
+     WX1 + WX2 + WX3 + WX4 + WX5 + WX6 + WX7,
+   data = data_model,
+   listw = listw_rook)
> summary(model_sdem)

Call:errorsarlm(formula = Y ~ X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + X6 + X7 + WX1 +
  WX2 + WX3 + WX4 + WX5 + WX6 + WX7, data = data_model, listw = listw_rook)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.224752 -0.397650 -0.080747  0.455795  0.879144

Type: error
Coefficients: (asymptotic standard errors)
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -47.1236717  40.0517542 -1.1766 0.2393674
X1           0.7859378   0.1365635  5.7551 8.659e-09
X2          -0.4291220   0.1233328 -3.4794 0.0005026
X3          -0.0172112   0.0265608 -0.6480 0.5169912
X4          -0.0030212   0.0242566 -0.1246 0.9008790
X5           0.3480753   0.1565441  2.2235 0.0261823
X6          -0.0609578   0.0657421 -0.9272 0.3538088
X7           0.4201592   0.0922832  4.5529 5.290e-06
WX1          -0.2215825   0.4279871 -0.5177 0.6046455
WX2           0.5022778   0.2633248  1.9074 0.0564629
WX3          -0.0093615   0.0519625 -0.1802 0.8570287
WX4          -0.0875321   0.0530754 -1.6492 0.0991059
WX5          -0.1783565   0.4874162 -0.3659 0.7144231
WX6          -0.2899262   0.1871652 -1.5490 0.1213723
WX7           0.1252176   0.2466561  0.5077 0.6116913

Lambda: -1.1944, LR test value: 9.0113, p-value: 0.0026832
Asymptotic standard error: 0.099697
z-value: -11.98, p-value: < 2.22e-16
Wald statistic: 143.52, p-value: < 2.22e-16

Log likelihood: -26.53614 for error model
ML residual variance (sigma squared): 0.27117, (sigma: 0.52074)
Number of observations: 27
Number of parameters estimated: 17
AIC: 87.072, (AIC for lm: 94.084)

> # Looping Model
> vars <- c("X1", "X2", "X3", "X4", "X5", "X6", "X7",
+   "WX1", "WX2", "WX3", "WX4", "WX5", "WX6", "WX7")
> repeat {
+   form <- as.formula(
+     paste("Y ~", paste(vars, collapse = " + ")))
+   model <- errorsarlm(
+     form,
+     data = data_model,
+     listw = listw_rook)
+   coef_table <- summary(model)$Coef
+   pvals <- coef_table[,4]
+   if(all(pvals < 0.1)){

```

```

+   break}
+   worst_var <- names(which.max(pvals))
+   vars <- vars[vars != worst_var]}
> summary(model)

Call:errorsarlm(formula = form, data = data_model, listw = listw_rook)

Residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.362171 -0.375295 -0.082281  0.396300  1.115353

Type: error
Coefficients: (asymptotic standard errors)
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -60.210702   9.930269  -6.0634 1.333e-09
X1           0.681437   0.097084   7.0191 2.234e-12
X2          -0.389435   0.099255  -3.9236 8.724e-05
X3          -0.017330   0.010117  -1.7130 0.086706
X5           0.224532   0.109770   2.0455 0.040808
X7           0.464814   0.078421   5.9272 3.082e-09
WX2          0.436932   0.178288   2.4507 0.014258
WX4          -0.078847   0.035003  -2.2526 0.024287
WX6          -0.352749   0.107245  -3.2892 0.001005

Lambda: -1.1405, LR test value: 9.9456, p-value: 0.0016123
Asymptotic standard error: 0.11645
      z-value: -9.7933, p-value: < 2.22e-16
Wald statistic: 95.908, p-value: < 2.22e-16

Log likelihood: -27.65876 for error model
ML residual variance (sigma squared): 0.31089, (sigma: 0.55758)
Number of observations: 27
Number of parameters estimated: 11
AIC: 77.318, (AIC for lm: 85.263)

> #Uji Normalitas
> res <- residuals(model)
> ks.test(res, "pnorm", mean(res), sd(res))

      Exact one-sample Kolmogorov-Smirnov test

data:  res
D = 0.08017, p-value = 0.9894
alternative hypothesis: two-sided

> #Uji Heterogenitas Spasial
> bptest.Sarlm(model)

      studentized Breusch-Pagan test

data:
BP = 8.452, df = 8, p-value = 0.3906

> #Uji Autokorelasi Spasial Residual
> moran.test(res, listw_rook)

      Moran I test under randomisation

data:  res
weights: listw_rook

Moran I statistic standard deviate = -1.1906, p-value = 0.8831
alternative hypothesis: greater

```

```

sample estimates:
Moran I statistic      Expectation      Variance
      -0.20400513      -0.03846154      0.01933210

> #Koefisien Determinasi
> SSR <- sum(residuals(model)^2)
> SST <- var(data_model$Y) * (length(data_model$Y) - 1)
> R2 <- 1 - (SSR / SST)
> n <- nrow(data_model)
> k <- length(model$coefficients) - 1
> Adj_R2 <- 1 - (((1 - R2) * (n - 1)) / (n - k - 1))
> Adj_R2
[1] 0.9368382
> #Plot
> y_pred <- fitted(model)
> plot(data_model$Y, type = "b", col = "blue", pch = 16,
+       ylim = range(c(data_model$Y, y_pred)),
+       ylab = "Nilai Y",
+       xlab = "Wilayah",
+       main = "Y Aktual vs Y Prediksi",
+       xaxt = "n")
> axis(1, at = 1:27, labels = 1:27)
> lines(y_pred, type = "b", col = "red", pch = 17)
> legend("topright",
+       legend = c("Y Aktual", "Y Prediksi"),
+       col = c("blue", "red"),
+       lty = 1,
+       pch = c(16,17))

```

RIWAYAT HIDUP



Safira Aulia Adelina, lahir di Sidoarjo pada 17 Agustus 2002. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Bapak David dan Ibu Inin. Penulis telah menempuh pendidikan mulai TK An-Nahdliyah yang lulus pada tahun 2008. Kemudian dilanjutkan menempuh pendidikan sekolah dasar di MI Nurul Huda 2 dan lulus pada tahun 2014. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di Manba'ul Qur'an Islamic Boarding School dan lulus pada tahun 2017. Kemudian dilanjutkan menempuh pendidikan sekolah menengah atas di MA Manba'ul Qur'an dan lulus pada tahun 2020. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang pada Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi pada tahun 2022.



**KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Jl. Gajayana No.50 Dinoyo Malang Telp. / Fax. (0341)558933

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Safira Aulia Adelina
NIM : 220601110049
Fakultas / Jurusan : Sains dan Teknologi / Matematika
Judul Skripsi : Penerapan Regresi *Spatial Durbin Error Model* pada Kasus Tuberkulosis di Jawa Barat
Pembimbing I : Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si.
Pembimbing II : Ari Kusumastuti, M.Pd., M.Si.

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	21 Mei 2025	Pembahasan Topik	1.
2.	29 Agustus 2025	Konsultasi Latar Belakang	2.
3.	8 Oktober 2025	Konsultasi Kajian Agama Bab I dan II	3.
4.	10 Oktober 2025	Konsultasi Bab I, II, III	4.
5.	17 Oktober 2025	Revisi Bab I, II, III	5.
6.	12 November 2025	ACC Bab I, II, dan III	6.
7.	14 November 2025	ACC Kajian Agama Bab I dan II	7.
8.	26 November 2025	ACC Seminar Proposal	8.
9.	4 Desember 2025	Konsultasi Revisi Seminar Proposal	9.
10.	5 Desember 2025	Konsultasi Bab IV dan V	10.
11.	17 Desember 2025	Konsultasi Kajian Agama Bab IV	11.
12.	13 April 2026	ACC Kajian Agama Bab IV	12.
13.	16 April 2026	Revisi Bab IV dan V	13.
14.	20 April 2026	Konsultasi Bab IV dan V	14.
15.	23 April 2026	ACC Bab IV dan V	15.
16.	4 Mei 2026	ACC Seminar Hasil	16.



KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Gajayana No.50 Dinoyo Malang Telp. / Fax. (0341)558933

17.	13 Mei 2026	Konsultasi Revisi Seminar Hasil	17. ✓
18.	18 Mei 2026	Revisi Seminar Hasil	18. ✓
19.	19 Mei 2026	ACC Sidang Skripsi	19. ✓
20.	9 Juni 2026	ACC Keseluruhan	20. ✓

Malang, 9 Juni 2026

Mengetahui,

Kepa Program Studi Matematika



Dr. Fashrur Rozi, M.Si.

NIP. 19800527 200801 1 012