



Pengaruh Faktor Spasial Terhadap Sebaran Tuberkulosis Menggunakan Pendekatan *Spatial Autoregressive Sumatera* Utara

*Khusnun Nisa*¹, *Jaclin Alcavella*², *Rani Puspita Sari*³, *Johannes Krisjon Silitonga*⁴,
*Irvan Alfaritzi*⁵, *Febri Dwi Irawati*⁶, *Rizty Maulida Badri*⁷

^{1,2,3,4,5,6}Program Studi Sains Data, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sumatera

¹khusnun.122450078@student.itera.ac.id

²jaclin.122450015@student.itera.ac.id

³rani.122450030@student.itera.ac.id

⁴johannes.122450043@student.itera.ac.id

⁵irvan.122450093@student.itera.ac.id

⁶febri.dwi@sd.itera.ac.id

⁷Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan

⁷Riztymaulidabadri@gmail.com

Corresponding author email: Riztymaulidabadri@gmail.com

Abstract: Tuberculosis (TB) remains one of the most serious infectious diseases in Indonesia, particularly in North Sumatra Province. The uneven distribution of TB cases across districts and cities indicates a potential influence of spatial factors on its spread. This study aims to analyze the impact of spatial factors—such as the number of poor residents, percentage of smokers, presence of slum housing, inadequate sanitation, and population morbidity—on TB incidence using spatial regression approaches, namely the Spatial Autoregressive Model (SAR) and the Spatial Durbin Model (SDM). The data used in this research are secondary data obtained from the Central Bureau of Statistics of North Sumatra for the years 2023–2024. The results indicate the presence of positive spatial autocorrelation, meaning that areas with high numbers of TB cases tend to cluster near similarly affected areas. Both SAR and SDM models successfully identify poverty levels and poor sanitation as dominant factors contributing to TB spread. These findings highlight the importance of incorporating spatial approaches in designing public health interventions, allowing for more targeted and region-specific strategies in combating infectious diseases.

Keywords: North Sumatra, SAR Model, Spatial Autocorrelation, Spatial Regression, Tuberculosis

Abstrak: Tuberculosis (TBC) merupakan salah satu penyakit menular yang masih menjadi masalah kesehatan serius di Indonesia, khususnya di Provinsi Sumatera Utara. Distribusi kasus TBC yang tidak merata antar kabupaten/kota menunjukkan adanya indikasi pengaruh faktor spasial terhadap penyebarannya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh faktor-faktor spasial, seperti jumlah penduduk miskin, persentase perokok, rumah kumuh, sanitasi tidak layak, dan penduduk yang sakit terhadap jumlah kasus TBC dengan menggunakan pendekatan regresi spasial, yakni Spatial Autoregressive Model (SAR) dan Spatial Durbin Model (SDM). Data yang digunakan merupakan data sekunder dari Badan Pusat Statistik Provinsi Sumatera Utara tahun 2023–2024. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat autokorelasi spasial positif dalam penyebaran TBC, yang berarti wilayah dengan jumlah kasus tinggi cenderung dikelilingi wilayah serupa. Model SAR dan SDM berhasil mengidentifikasi bahwa jumlah penduduk miskin dan sanitasi tidak layak merupakan faktor dominan yang berkontribusi terhadap sebaran kasus TBC. Temuan ini menekankan pentingnya pendekatan spasial dalam perumusan kebijakan penanggulangan penyakit menular, agar intervensi yang dilakukan lebih efektif dan sesuai dengan karakteristik wilayah.

Kata kunci: Autokorelasi Spasial, Model SAR, Regresi Spasial, Sumatera Utara, Tuberkulosis

I. PENDAHULUAN

Tuberculosis (TBC) masih menjadi salah satu penyakit menular paling mematikan di dunia. menurut *Global Tuberculosis Report 2024* yang diterbitkan oleh World Health Organization (WHO) pada tahun 2023 terdapat sekitar 10,8 juta kasus baru TBC secara global, dengan Indonesia menempati peringkat kedua tertinggi setelah India [1]. Provinsi Sumatera Utara menjadi salah satu wilayah dengan angka kasus TBC yang tinggi di Indonesia. Berdasarkan data Profil Kesehatan Indonesia 2023, distribusi kasus TBC di provinsi ini tidak merata antar Kabupaten/Kota. Hal ini



menunjukkan adanya indikasi pola spasial dalam penyebaran penyakit [2]. Analisis spasial memainkan peran penting dalam memahami dinamika penyebaran penyakit menular seperti TBC. Penyakit ini tidak hanya dipengaruhi oleh faktor individu, tetapi juga oleh kondisi lingkungan dan kedekatan geografis antar wilayah. Oleh karena itu, pendekatan spasial mampu memberikan gambaran yang lebih menyeluruh dalam mengidentifikasi area-area dengan resiko tinggi serta memahami pengaruh lingkungan sekitar terhadap kejadian kasus.

Untuk memahami dinamika penyebaran penyakit menular seperti TBC, analisis spasial sangat penting karena penyakit ini dipengaruhi oleh faktor individu dan kondisi lingkungan serta kedekatan geografis antar wilayah. Akibatnya, pendekatan spasial memiliki kemampuan untuk memberikan gambaran yang lebih mendalam tentang lokasi dengan risiko tinggi dan bagaimana peristiwa lingkungan mempengaruhi kasus. Dalam studi epidemiologi modern, metode *Spatial Autoregressive Model* (SAR) menjadi salah satu pendekatan statistik yang relevan untuk menganalisis pengaruh spasial dalam data geografis. Model ini memperhitungkan keterkaitan antara satu wilayah dengan wilayah-wilayah disekitarnya dalam memodelkan fenomena tertentu, dalam hal ini sebaran TBC.

Provinsi Sumatera Utara menjadi salah satu wilayah yang mengidap penyakit TBC tertinggi. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Sumatera Utara tahun 2023-2024 menunjukkan bahwa terdapat ketimpangan jumlah kasus antar Kabupaten/Kota. Seperti Kota Medan mencatat lebih dari 17.000 kasus TBC, diikuti oleh Kabupaten Deli Serdang dan Kabupaten Langkat yang masing-masing mencatat lebih dari 5.000 dan 2.500 kasus [3]. Sebaliknya, beberapa wilayah seperti Nias Utara dan Nias Barat mencatat kurang dari 100 kasus. Ketimpangan spasial ini mengindikasikan bahwa faktor lokasi dan kondisi wilayah memiliki peran penting dalam penyebaran wilayah. Persebaran TBC yang tidak merata di Sumatera Utara diduga berkaitan dengan berbagai faktor spasial, seperti kondisi sosial ekonomi, kepadatan penduduk, sanitasi, perilaku merokok, serta kualitas lingkungan tempat tinggal.

Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa kemiskinan, lingkungan tempat tinggal yang padat dan tidak sehat, serta kebiasaan merokok dapat meningkatkan risiko penularan TBC. Dalam dataset yang digunakan pada penelitian ini, faktor-faktor tersebut tercermin dalam variabel seperti jumlah penduduk miskin, persentase rumah kumuh, akses sanitasi, dan persentase masyarakat perokok. Untuk menganalisis pengaruh faktor-faktor tersebut secara spasial, pendekatan model *Spatial Autoregressive* (SAR) digunakan karena mampu menangkap adanya ketergantungan spasial antarwilayah. Model ini cocok digunakan dalam penelitian yang melibatkan fenomena geospasial seperti penyebaran penyakit menular, yang tidak hanya dipengaruhi oleh karakteristik internal suatu wilayah, tetapi juga oleh kondisi wilayah sekitarnya. Penelitian lain menunjukkan bahwa penggunaan model SAR dan *Spatial Durbin Model* (SDM) efektif dalam mendeteksi pengaruh spasial dan mengidentifikasi area berisiko tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh faktor-faktor spasial terhadap persebaran kasus TBC di Provinsi Sumatera Utara dengan menggunakan pendekatan *Spatial Autoregressive* (SAR). Variabel-variabel yang dikaji meliputi jumlah penduduk miskin, persentase masyarakat perokok, persentase rumah tangga kumuh, serta persentase penduduk yang menderita sakit. Dengan memanfaatkan data sekunder dari BPS tahun 2023–2024, penelitian ini akan mengevaluasi keterkaitan antara variabel-variabel tersebut terhadap jumlah kasus TBC secara spasial.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Deskripsi Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Sumatera Utara. Dataset ini mencakup jumlah kasus penyakit TBC, jumlah



penduduk Kabupaten/Kota, jumlah penduduk miskin, rumah tangga yang memiliki akses sanitasi layak, persentase masyarakat perokok, persentase rumah kumuh menurut kabupaten/kota, persentase penduduk yang menderita sakit, dan jumlah kasus penyakit. Dataset yang disajikan merupakan data 33 kabupaten/kota di Sumatera Utara dan mencakup periode waktu 2023-2024.

Tabel 1. Nama Peubah

Peubah	Nama Peubah
Y	Jumlah Kasus Penyakit-Angka Penemuan TBC
X_1	Jumlah Penduduk Miskin (dalam ribuan)
X_2	Persentase Masyarakat Perokok
X_3	Persentase Rumah Tangga Kumuh Menurut Kabupaten/Kota
X_4	Persentase Penduduk Yang Menderita Sakit Sebulan Terakhir Menurut Kabupaten/Kota dan Jenis Kelami
X_5	Persentase Rumah Tangga yang Memiliki Sanitasi Tidak Layak

Tabel 2. Dataset TBC

KABKOT	Y	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
Asahan	1865	61.34	16.67	2.71	8.34	7.87
Batu Bara	923	47.66	16.67	3.95	13.16	7.46
Kota Binjai	1820	13.86	16.67	1.8	8.58	4.56
Dairi	1117	20.4	16.67	1.46	9.42	5.58
Deli Serdang	5972	84.24	16.9	2.03	10.78	3.22
Gunungsitoli	298	22.16	16.67	17.38	12.33	44.63
Humbang Hasundutan	482	16.78	16.67	1.31	5.71	3.01
Karo	1222	33.44	16.67	4.01	7.22	11.89
Labuhanbatu Utara	720	34	16.67	5.69	11.1	15.25
Labuhanbatu	1385	42.45	16.67	6.44	4.98	15.21
Labuhanbatu Selatan	591	29.19	16.67	1.74	14.14	12.51
Langkat	2566	96.54	16.67	5.15	14.34	9.35
Mandailing Natal	1379	40.56	16.67	18.42	8.52	64.11
Kota Medan	17161	187.04	17.2	3.71	6.77	8.03
Nias	723	21.74	16.5	30.87	19.62	76.14
Nias Barat	79	18.78	18.01	24.41	15.06	63.48
Nias Selatan	461	54.48	16.67	31.9	10.8	84.37
Nias Utara	49	30.53	16.67	20.16	12.08	62.1
Padang Lawas	626	24.96	16.67	11.37	7.6	31.68
Padang Lawas Utara	668	27.21	16.67	7.04	8.38	27.78
Padangsidempuan	818	14.88	16.67	11.84	8.08	55.25



Pakpak Barat	174	3.73	16.67	6.64	10.26	16.26
Pematangsiantar	1728	18.97	16.3	1.64	9	8.78
Samosir	248	14.85	16.67	3.16	12.01	6.82
Serdang Bedagai	1287	42.99	16.67	2.8	14.95	6.71
Sibolga	1018	9.99	16.67	21.12	15.75	64.95
Simalungun	1950	68.05	16.67	1.98	14.81	7.04
Kota Tanjungbalai	718	22.25	16.67	5.85	6.44	5.63
Tapanuli Selatan	610	19.9	16.67	9.2	7.21	48.46
Tapanuli Tengah	745	49.21	16.67	19.07	11.88	39.54
Tapanuli Utara	1005	25.5	16.67	3.99	8.09	8.79
Tebingtinggi	775	15.3	16.67	0.73	8.34	7.24
Toba Samosir	644	15.03	16.3	2.56	6.01	6.74

2.2 Uji Multikolinearitas

Dalam analisis regresi linear, salah satu asumsi penting yang harus dipenuhi adalah tidak adanya multikolinearitas atau hubungan linear yang tinggi antar variabel bebas. *Variance Inflation Factor* (VIF) merupakan salah satu metode yang umum digunakan untuk mendeteksi terjadi atau tidaknya hubungan linear yang tinggi antar variabel bebas. VIF memberikan informasi mengenai sejauh mana varians koefisien regresi dipengaruhi oleh adanya korelasi antar variabel independen. Nilai VIF untuk setiap variabel bebas dihitung menggunakan rumus berikut :

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

Dimana:

VIF_j = Nilai VIF untuk variabel ke-j

R_j^2 = Nilai koefisien determinasi dari regresi variabel ke-j terhadap variabel bebas lainnya

Semakin tinggi nilai R_j^2 , semakin besar pula nilai VIF, yang menunjukkan adanya multikolinearitas. Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan menggunakan perangkat lunak R, tepatnya dengan fungsi *vif()* dari paket *car* (*Companion to Applied Regression*). Paket *car* dalam R adalah sebuah paket yang menyediakan berbagai fungsi untuk melakukan analisis regresi, termasuk pengujian dan diagnosis model regresi.

2.3 Matriks Pembobot Spasial

Untuk memahami adanya keterkaitan antar daerah yang berdekatan secara geografis, pendekatan analisis spasial digunakan. Matriks pembobot spasial adalah salah satu elemen penting dalam analisis ini, yang menciptakan gambaran tentang hubungan kedekatan antar unit wilayah. Matriks bobot ini berfungsi untuk mendeteksi dampak spasial dari satu daerah ke daerah lainnya. Pemilihan jenis matriks bobot sangat krusial karena dapat mempengaruhi hasil estimasi model. Beberapa tipe matriks yang sering digunakan antara lain *queen contiguity*, *rook contiguity*, dan *inverse distance weight* (IDW).



Penelitian sebelumnya [7] telah mengimplementasikan penggunaan matriks bobot spasial dalam pemodelan penyebaran penyakit tuberkulosis di Surakarta. Metode yang diterapkan adalah *Spatial Empirical Bayes*, dengan memanfaatkan matriks bobot *queen contiguity*. Matriks ini dipilih karena mempertimbangkan sisi dan sudut antar wilayah yang bersentuhan, sehingga dianggap lebih representatif dibandingkan rook atau bishop contiguity. Hasil penelitian menunjukkan adanya autokorelasi spasial secara keseluruhan yang mengindikasikan bahwa penyebaran tuberkulosis di suatu daerah dipengaruhi oleh daerah di sekitarnya. Model tersebut juga efektif dalam mengatasi isu estimasi area kecil yaitu pada situasi di mana terdapat daerah dengan jumlah kasus yang sangat sedikit namun tetap perlu dipertimbangkan dalam analisis spasial.

2.4 Uji Efek Spasial

Ada beberapa uji yang digunakan untuk mendeteksi dan menguji efek spasial, uji yang umum digunakan adalah uji Indeks Moran, uji *Lagrange Multiplier* (LM), dan uji *Breusch-Pagan*.

a. Uji Indeks Moran

Indeks Moran adalah alat statistik yang dipakai untuk mengukur dan menguji keberadaan autokorelasi spasial dalam data yang diobservasi di lokasi yang berbeda. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan apakah nilai dari suatu variabel di satu lokasi berkaitan atau mempengaruhi nilai dari variabel di lokasi lain yang dekat secara spasial. Hipotesis yang diuji adalah :

$$H_0: I = 0 \text{ (tidak terdapat dependensi spasial)}$$

$$H_1: I \neq 0 \text{ (terdapat dependensi spasial)}$$

Indeks Moran dihitung dengan rumus :

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \tag{2}$$

Dimana:

n = jumlah lokasi pengamatan

x_i = nilai variabel pada Lokasi i

\bar{x} = rata-rata nilai variabel

w_{ij} = bobot spasial antara lokasi i dan j

$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}$ = jumlah total bobot spasial

Indeks Moran memiliki nilai yang berkisar antara -1 hingga +1, Dimana nilai positif mengindikasikan adanya pengelompokan spasial, nilai negative menunjukkan pola penyebaran spasial, dan nilai yang mendekati nol menggambarkan pola acak tanpa keterkaitan spasial.

Uji signifikansi indeks Moran dilakukan dengan menggunakan statistik Z berikut:

$$Z_I = \frac{I - E(I)}{\sqrt{Var(I)}} \tag{3}$$

Dimana $E(I)$ adalah nilai harapan dan $Var(I)$ adalah varians dari indeks Moran. Hipotesis nol ditolak apabila nilai statistik Z lebih besar dari nilai kritis pada tingkat signifikansi tertentu atau $p\text{-value} < \alpha$.

b. Uji *Lagrange Multiplier* (LM)



Uji Breusch-Pagan berfungsi untuk mengidentifikasi adanya variasi heterogenitas spasial, yakni perbedaan dalam varians galat di antara lokasi pengamatan. Tujuan dari uji ini adalah untuk mengevaluasi apakah model regresi yang digunakan memiliki varians residual yang seragam (*homoskedastisitas*) atau bervariasi di berbagai area (*heteroskedastis*) yang dapat mengindikasikan perlunya penerapan pendekatan spasial local seperti *Geographically Weighted Regression* (GWR).

Hipotesis yang diuji adalah sebagai berikut:

H_0 : Varians galat di semua lokasi adalah seragam (tidak terdapat heterogenitas spasial).

H_1 : Paling sedikit ada satu lokasi dengan varians galat yang berbeda (terdapat heterogenitas spasial).

Statistik untuk uji *Breusch-Pagan* dihitung berdasarkan nilai kuadrat galat dari hasil regresi (residual) yang telah dinormalisasi. Proses perhitungan uji ini melibatkan vektor galat yang dikalikan dengan matriks variabel independen, dan hasilnya kemudian dibandingkan dengan distribusi chi-kuadrat yang memiliki derajat bebas sesuai dengan jumlah variabel independen.

Kriteria pengujian adalah :

- 2.1 H_0 ditolak jika nilai statistik uji Breusch Pagan lebih besar dari nilai kritis chi-kuadrat pada taraf signifikansi tertentu, atau jika nilai *p-value* $< \alpha$ (biasanya 0,05).
- 2.2 Penolakan H_0 menunjukkan adanya heterogenitas spasial, yaitu varians galat yang tidak konstan antar lokasi.

Penggunaan uji *Breusch-Pagan* ini penting sebagai tahap awal untuk memutuskan apakah perlu menggunakan model spasial lokal seperti GWR yang memungkinkan koefisien regresi berbeda pada setiap lokasi.

c. Uji *Breusch-Pagan*

Dalam analisis regresi spasial, penting untuk terlebih dahulu memeriksa adanya ketergantungan spasial dalam data yang digunakan. Salah satu metode statistik yang dapat digunakan untuk mendeteksi autokorelasi spasial adalah uji *Lagrange Multiplier* (LM). Uji ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu LM Lag dan LM error, yang masing – masing menguji apakah ketergantungan spasial berasal dari nilai variabel dependen yang berdekatan (lag) atau dari hubungan antar komponen error di berbagai lokasi. Jika salah satu uji menunjukkan *p-value* yang lebih rendah dari Tingkat signifikansi (biasanya 5%), maka dapat disimpulkan bahwa terdapat autokorelasi spasial. Dalam kasus ini, model regresi klasik tidak lagi dapat menggambarkan data dengan baik, dan penerapan model regresi spasial seperti SAR (*Spatial Autogressive*) atau SEM (*Spatial Error Model*) menjadi diperlukan.

Untuk menghindari kesalahan dalam menentukan spesifikasi model, uji *Breusch-Pagan* biasanya dilanjutkan dengan *Robust Lagrange Multiplier* yang lebih peka dalam mendeteksi jenis efek spasial yang lebih dominan. Dalam penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Usali et al. (2021) [8] mengenai partisipasi angkatan kerja di Indonesia, uji *Lagrange Multiplier* diterapkan untuk mengidentifikasi adanya efek spasial dalam data antar provinsi. Hasil analisis menunjukkan bahwa LM Lag signifikan (*p-value* = 0,005786), sementara LM Error tidak signifikan (*p-value* = 0,334060). Uji robust juga memberikan hasil yang serupa, menguatkan



bahwa ketergantungan spasial ditemukan pada komponen lag. Dengan demikian, model *Spatial Autoregressive* (SAR) dipilih sebagai model yang paling sesuai. Penelitian ini menunjukkan bahwa uji *Lagrange Multiplier* memiliki peran penting dalam menentukan model spasial yang tepat, serta memastikan bahwa efek spasial yang hadir telah ditangkap dengan benar oleh pendekatan yang digunakan dalam pemodelannya.

2.5 *Spatial Autoregressive Model (SAR)*

Spatial Autoregressive (SAR) adalah salah satu model regresi spasial yang digunakan ketika terdapat autokorelasi spasial pada variabel dependen. Nilai suatu observasi dipengaruhi oleh nilai-nilai observasi lain yang berada di lokasi sekitar secara spasial.

Persamaan SAR adalah sebagai berikut :

$$y = \rho W_1 y + X\beta + \varepsilon \quad (4)$$

Dimana:

y = Vektor dari variabel dependen

ρ = koefisien autokorelasi spasial yang mengukur kekuatan pengaruh spasial

W = Matriks bobot spasial yang menggambarkan hubungan spasial antar wilayah

X = Matriks dari variabel independen

β = Vektor koefisien regresi dari variabel independen

ε = Vektor error acak dengan distribusi normal

2.6 *Spatial Durbin Model (SDM)*

Model SDM merupakan model regresi spasial yang tidak hanya memiliki spasial lag pada variabel respon tetapi juga memiliki spasial lag pada variabel prediktor. Model SDM memiliki bentuk persamaan sebagai berikut :

$$y = \rho W y + \alpha 1_n + X\beta + WX\theta + \varepsilon, \varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I_n) \quad (5)$$

Dimana:

y = Vektor dari variabel dependen

ρ = koefisien autokorelasi spasial yang mengukur kekuatan pengaruh spasial

W = Matriks bobot spasial yang menggambarkan hubungan spasial antar wilayah

α = Vektor parameter konstan berukuran $n \times 1$.

θ = Vektor parameter lag spasial variabel independen berukuran $k \times 1$

1_n = Vektor yang berisi angka 1 berukuran $n \times 1$

2.7 *Uji Asumsi Spasial*

Uji asumsi spasial adalah pengujian yang dilakukan untuk memastikan model regresi spasial memenuhi asumsi – asumsi yang dibutuhkan untuk menghasilkan hasil yang valid dan akurat. Uji asumsi yang dilakukan adalah kenormalan, kehomogenan, dan saling bebas.

a. Kenormalan

Kenormalan yaitu residual dari model harus terdistribusi secara normal yang ditunjukkan dengan kurva simetris. Kenormalan ini penting terutama untuk keperluan pengujian statistik, seperti uji signifikansi parameter.



b. Kehomogenan

Kehomogenan mengacu pada kondisi di mana varians error model tetap konstan di seluruh wilayah observasi. Jika terjadi pelanggaran terhadap asumsi ini, maka model dapat menghasilkan estimasi yang tidak efisien. Uji yang umum digunakan untuk mendeteksi pelanggaran asumsi ini adalah uji *Breusch-Pagan*, yang menguji apakah varians residual tergantung pada variabel independen.

c. Saling Bebas

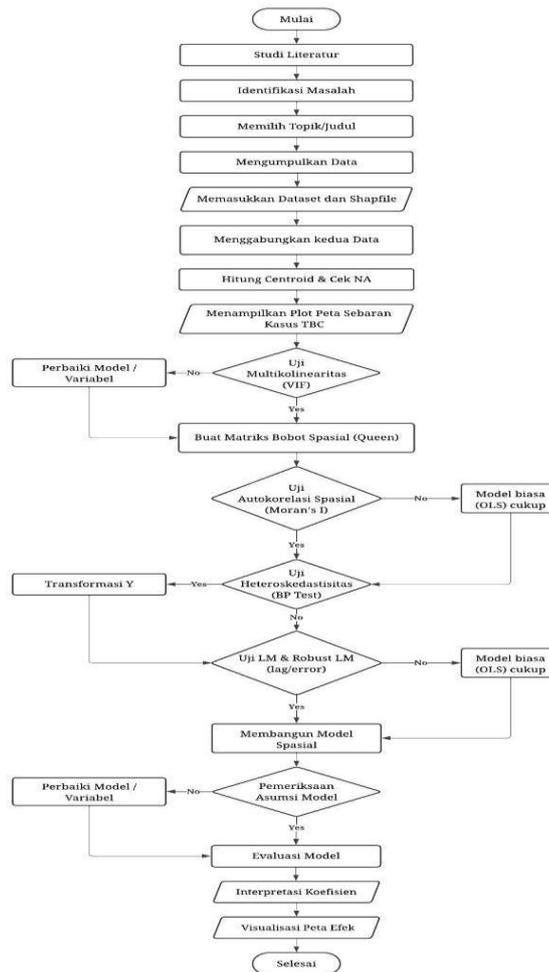
Residual dari satu lokasi tidak boleh saling berkorelasi secara spasial dengan residual dari lokasi lain. Pelanggaran terhadap asumsi ini menyebabkan hasil estimasi model regresi biasa OLS menjadi tidak valid. Uji Moran's I sering digunakan untuk mendeteksi adanya autokorelasi spasial pada residual. Jika nilai Moran's I signifikan berarti terdapat ketergantungan spasial antar residual. Selain itu, *Lagrange Multiplier* (LM) juga digunakan untuk mengidentifikasi apakah diperlukan model spasial lanjutan seperti *Spatial Autoregressive* (SAR).

2.8 Evaluasi Kebaikan Model

Tahap penting dalam analisis regresi spasial untuk menilai sejauh mana model yang dibangun mampu menjelaskan variasi data serta memberikan prediksi yang akurat. Tujuan utama dari evaluasi ini adalah memastikan bahwa model tidak hanya sesuai secara statistik, tetapi juga relevan secara spasial dan substantif terhadap fenomena yang dianalisis.

2.9 Diagram Alir Penelitian

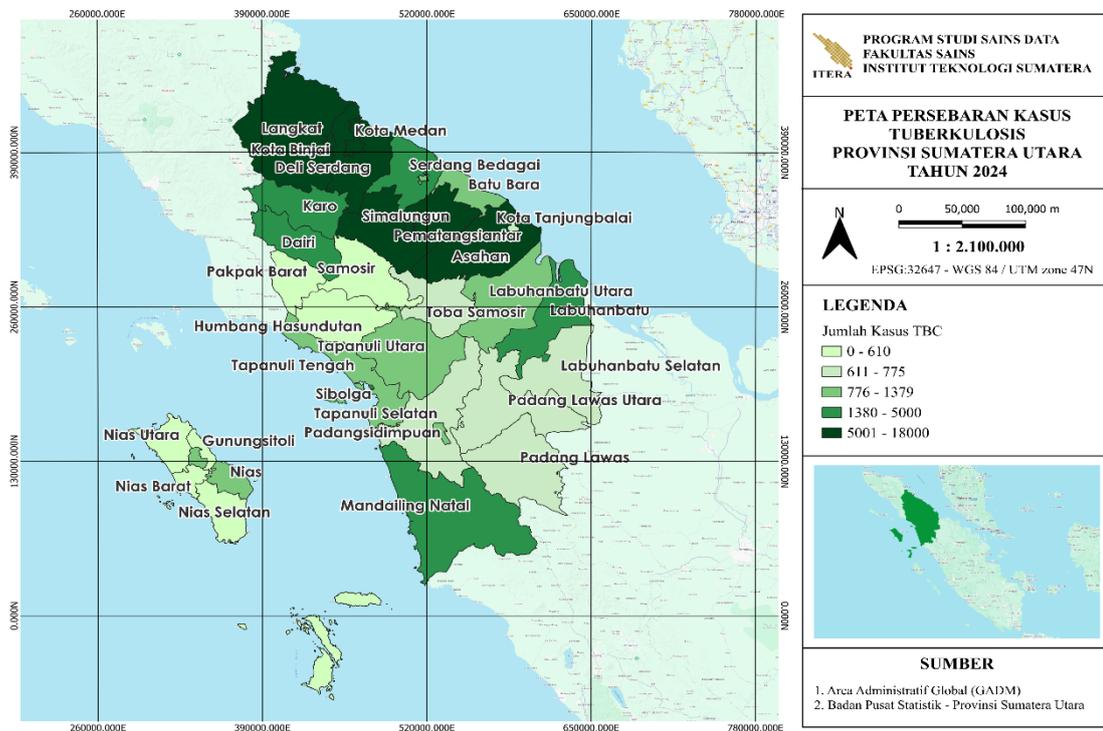
Berikut ini adalah diagram alir penelitian yang kami lakukan :



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

III. Hasil dan Pembahasan

Visualisasi dari pola persebaran kasus TBC di Provinsi Sumut berdasarkan Kabupaten/Kota yang digambarkan dengan software RStudio.



Gambar 2. Pola persebaran kasus TBC di Sumatera Utara tahun 2023-2024

Gambar 2 menunjukkan distribusi spasial jumlah kasus TBC di Provinsi Sumatera Utara, dengan merepresentasikan kuantitas kasus dengan gradasi warna dari krem menunjukkan kasus rendah hingga ungu gelap menunjukkan kasus sangat tinggi di setiap wilayahnya. Lebih dari 610 kasus dengan warna krem muda menunjukkan daerah dengan jumlah kasus TBC paling rendah, 611-775 berwarna peach jumlah kasus rendah menengah, 776-1379 berwarna merah muda kasus menengah, 1380-5000 berwarna ungu menunjukkan kasus tinggi dan 5000 berwarna ungu gelap menunjukkan kasus yang sangat tinggi. Berdasarkan warna dan sebaran bisa kita lihat 3 wilayah dengan kasus TBC tertinggi yaitu Kota Medan, Deli Serdang, Langkat yang ditandai dengan warna ungu gelap. Sehingga, hal ini menunjukkan bahwa wilayah tersebut menjadi prioritas dalam penanggulangan penyakit TBC di Sumatera Utara.

Selanjutnya Delakukan pemeriksaan Multikolinearitas, yang bertujuan untuk memastikan setiap variabel independen dalam model memberikan kontribusi informasi yang unik terhadap variabel dependen.

Tabel 3. Hasil Uji Multikolinearitas

Variabel Independen	Nilai VIF
X_1	1.150
X_2	1.184
X_3	1.448
X_4	1.258
X_5	1.180

Berdasarkan hasil uji multikolinearitas semua variabel X_1 hingga X_5 memiliki nilai VIF jauh diambang batas 5, sehingga bisa kita simpulkan bahwa tidak terjadi multikolinearitas antar variabel bebas dalam model ini. Setelah didapatkan hasil asumsi yang terpenuhi di multikolinearitas maka



dapat dilanjutkan dengan melakukan uji dependensi spasial untuk menilai suatu variabel di suatu wilayah dipengaruhi oleh nilai variabel yang sama di wilayah sekitarnya, dengan melakukan uji Moran's.

Nilai Moran's sebesar 0.3491 menunjukkan adanya autokorelasi spasial positif antara wilayah wilayah di Sumatera Utara dalam kasus TBC, Nilai *Z-Score* 5.4884 dan *p-value* yang sangat kecil menandakan bahwa hasil ini sangat signifikan yang artinya penyebaran kasus TBC tidak terjadi secara acak melainkan cenderung membentuk kluster daerah dengan nilai tinggi dikelilingi oleh daerah bernilai tinggi lainnya. Transformasi logaritmik dilakukan untuk melakukan analisis lanjutan karena data *Y* mengandung nilai nol atau negatif, Setelah pergeseran nilai dilakukan, Uji kehomogenan sisaan regresi dengan uji *Breusch-Pagan* didapatkan hasil dari hasil *Breusch-Pagan* dan *p value* bisa disimpulkan tidak terdapat heteroskedasitas dalam model ini yang menunjukkan bahwa transformasi logaritmik berhasil dilakukan dan menstabilkan varians residual. Uji *Lagrange Multiplier* untuk menentukan efek dependensi pada model regresi spasial dilakukan untuk melihat ketergantungan spasial yang signifikan dalam data

Tabel 4. Uji Lagrange Multiplier

Jenis Uji	Nilai Statistik	df	p-value
RSerr (LM Error)	0.15880	1	0.6903
RSlag (LM Lag)	0.18065	1	0.6708
adjRSerr (LM Error robust)	0.94962	1	0.3298
adjRSlag (LM Lag robust)	0.97146	1	0.3243

Lagrange multiplier tidak menunjukkan autokorelasi spasial pada residual model OLS, namun nilai moran's yang signifikan secara statistik mengindikasikan adanya pola spasial pada data dependen. Oleh karena itu, untuk melakukan uji SAR tetap dilakukan sebagai langkah eksploratif untuk mengevaluasi potensi peningkatan kualitas model dan pemahaman spasial terhadap kasus TBC.

Tabel 5. Uji Spatial Autoregressive (SAR)

Variabel	Estimate	Std. Error	z-value	p-value
Intercept	18.9793	6.2248	3.049	0.0023
X_1	+0.0221	0.0030	7.389	<0.0001
X_2	-0.7952	0.3766	-2.111	0.0347
X_3	-0.0306	0.0132	-2.325	0.0201
X_4	-0.0091	0.0305	-0.299	0.7652
X_5	+0.0085	0.0071	1.199	0.2305

Hasil dari model SAR ini membantu dalam mengidentifikasi hubungan antar wilayah dalam fenomena yang sedang dianalisis, seperti penyebaran suatu kasus yang dipengaruhi oleh wilayah sekitarnya. Selain itu, model ini secara eksplisit mempertimbangkan pengaruh variabel dependen, sehingga dapat mendeteksi pola autokorelasi spasial yang mungkin ada. Model SAR juga memberikan wawasan bahwa X_1 adalah variabel yang memiliki pengaruh signifikan secara tidak langsung.

Tabel 6. Uji Spatial Durbin Model (SDM)

Variabel	Estimate	Std. Error	z-value	p-value
Intercept	14.3678	18.0560	0.796	0.4262



X_1	+0.0213	0.0030	7.167	<0.0001
X_2	-0.5573	0.3661	-1.532	0.1297
X_3	-0.0437	0.0130	-3.351	0.008
X_4	-0.0127	0.0263	-0.482	0.6296
X_5	0.0151	0.0070	2.166	0.030

Berdasarkan hasil estimasi model Spatial Durbin Model (SDM), variabel X_1 , X_3 , dan X_5 memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel dependen. Variabel X_1 memiliki pengaruh positif signifikan dengan koefisien 0.0213, menunjukkan bahwa meningkatkan X_3 akan menurunkan nilai variabel dependen, dan variabel X_3 memiliki pengaruh negatif signifikan dengan koefisien -0.0437. Sebaliknya, karena variabel X_2 dan X_4 memiliki nilai p masing-masing 0.1297 dan 0.6296, tidak ada bukti yang menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap variabel dependen. Selain itu, nilai intercept sebesar 14.3678 tidak signifikan ($p = 0.4262$), sehingga tidak signifikan untuk model ini.

Dalam analisis regresi spasial, interpretasi koefisien tidak hanya mempertimbangkan pengaruh langsung dari variabel independen terhadap variabel dependen, tetapi juga pengaruh dari wilayah sekitar. Pada model SDM variabel X_1 dan X_5 memiliki pengaruh positif terhadap variabel dependen, sedangkan variabel X_2 menunjukkan pengaruh negatif yang besar, variabel X_3 dan X_4 memiliki dampak negatif secara langsung.

Tabel 7. Interpretasi Koefisien SAR

Variabel	Direct	Indirect	Total
X_1	0.0221	0.0021	0.0242
X_2	-0.7968	-0.0760	-0.8729
X_3	-0.0306	-0.0029	-0.0335
X_4	-0.0091	-0.0008	-0.0099
X_5	0.0084	0.0008	0.0092

Model SDM memperluas model SAR dengan memasukkan lag dari variabel independen, sehingga memberikan informasi lebih detail tentang efek lokal dan spasial. Pada model SDM variabel X_1 menunjukkan pengaruh positif langsung, variabel X_2 dan X_3 menunjukkan efek negatif, variabel X_4 memiliki pengaruh spasial yang lebih besar dibandingkan pengaruh lokal dan X_5 sangat dipengaruhi oleh efek dari wilayah tetangga yang dapat menyebar dampaknya ke daerah lain.

Tabel 8. Interpretasi SDM (Spatial Durbin Model)

Variabel	Direct	Indirect	Total
X_1	0.0212	-0.0002	0.0210
X_2	-0.5666	0.2404	-0.3261
X_3	-0.0423	-0.0343	-0.0767
X_4	-0.010	-0.0608	-0.711
X_5	0.0133	0.0470	0.0603

Pengaruh langsung Variabel X_1 terhadap variabel Y menunjukkan bahwa variabel X_1 memiliki pengaruh langsung yang cukup kuat dan relatif seragam terhadap variabel Y di seluruh Kabupaten/Kota, berdasarkan model SAR yang digunakan. Nilai efek langsung X_1 berkisar antara 0.02208 hingga 0.02212, dengan sedikit peningkatan pengaruh di wilayah utara. Hal ini



mengindikasikan bahwa perubahan pada X_1 akan memberikan dampak yang konsisten terhadap Y , menjadikan X_1 sebagai faktor penting dalam penyusunan kebijakan yang merata secara spasial.

Pengaruh langsung variabel X_5 terhadap variabel Y memberikan pengaruh langsung yang lemah, meskipun secara spasial tetap signifikan. Nilai efek langsung X_5 berkisar sangat sempit antara 0.01520 hingga 0.01526, menunjukkan bahwa kontribusinya relatif kecil dan tidak banyak mengalami variasi antar wilayah. Hal ini mengindikasikan bahwa X_5 bukan merupakan faktor dominan dalam mempengaruhi Y secara langsung di tingkat kabupaten/kota.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis spasial terhadap penyebaran kasus Tuberkulosis (TBC) di Provinsi Sumatera Utara, penelitian ini menunjukkan adanya pola yang signifikan antar wilayah. Uji Moran's yang dilakukan mengindikasikan autokorelasi spasial positif yang menandakan bahwa wilayah dengan kasus tertinggi cenderung dikelilingi oleh wilayah dengan kasus yang juga tinggi. Melalui pendekatan *Spatial Autoregressive (SAR)* dan *Spatial Durbin Model (SDM)*, ditemukan bahwa jumlah penduduk miskin (X_1) memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap angka penemuan kasus TBC dengan nilai efek langsung X_1 berkisar antara 0.02208 hingga 0.02212. Selain itu, persentase masyarakat perokok (X_3) memiliki nilai yang bervariasi antara -0.0306 hingga -0.0423 dan kualitas sanitasi (X_5) dengan nilai yang berkisar antara 0.01520 hingga 0.01526 juga terbukti berkontribusi dalam pengaruh sebaran kasus, meskipun memiliki intensitas yang bervariasi. Hasil penelitian ini menegaskan pentingnya intervensi berbasis wilayah yang mempertimbangkan faktor spasial dalam pengendalian TBC. Dengan mempertimbangkan pengaruh lingkungan sekitar serta keterkaitannya antar wilayah, pendekatan spasial yang terbukti mampu memberikan pemahaman yang lebih komprehensif dalam menyusun strategi penanggulangan penyakit menular TBC. Oleh karena itu, model SAR dan SDM dapat dijadikan dasar dalam perusahaan kebijakan kesehatan publik yang bersifat aditif dan berbasis data spasial.

REFERENSI

1. World Health Organization, “Global Tuberculosis Report 2024,” WHO, Geneva, 2024. [Online].
2. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, “Profil Kesehatan Indonesia 2023,” Jakarta: Kemenkes RI, 2024.
3. Badan Pusat Statistik Provinsi Sumatera Utara. “Data Sosial dan Kesehatan Kabupaten/Kota Tahun 2023-2024”. BPS Sumut. 2024
4. R. Usali, Nurwan, F. A. Oroh, dan M. Rezky, “Analisis Regresi Spasial pada Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja di Indonesia,” *Jurnal Statistika*, vol. 8, no. 2, 2020.
5. H. A. Khoirunissa, “Pemodelan Spatial Empirical Bayes untuk Mengidentifikasi Kluster Tuberkulosis di Kota Surakarta,” *Skripsi*, Statistika, Universitas Diponegoro, 2020.
6. H. I. Zebua dan G. A. Harefa, “Model Spatial Autoregressive Quantile Regression (SAR-QR) untuk Pemodelan Kasus Tuberkulosis di Kota Bandung,” *Jurnal Matematika Statistika dan Komputasi*, vol. 19, no. 1, pp. 50–61, 2023.
7. H. A. Khoirunissa, “Pemetaan Risiko Penyakit Tuberkulosis (TBC) di Kota Surakarta dengan Spatial Empirical Bayes,” *Indonesian Journal of Applied Statistics*, vol. 3, no. 2, pp. 78–84, Nov. 2020.
8. R. Usali, Nurwan, F. A. Oroh, dan M. R. F. Payu, “Pemodelan Regresi Spasial Dependensi pada Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja di Indonesia Tahun 2020,” *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, vol. 15, no. 4, pp. 687–696, Dec. 2021, doi: [10.30598/barekengvol15iss4pp687-696](https://doi.org/10.30598/barekengvol15iss4pp687-696).