



ANALISIS AUTOKORELASI SPASIAL DAN IDENTIFIKASI CLUSTER RATA-RATA LAMA SEKOLAH DI PROVINSI SUMATERA UTARA

Finny Aprilia Yulanda, Sarah Amalia, Nadia Rikza Ananda, Putri Leony Simpa, Sri Yuni Utari Sihombing, Hanna Dewi Marina Hutabarat

Matematika, Universitas Negeri Medan, Indonesia

finnyaprilia.4243260021@mhs.unimed.ac.id

Informasi Artikel	Abstrak
<p>Submitted: April 29, 2026 Revised: May 24, 2026 Accepted: June 4, 2026</p> <p>Kata Kunci Autokorelasi Spasial; LISA; Moran's I; Rata-rata Lama Sekolah; Sumatera Utara.</p>	<p>Tujuan: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola distribusi Rata-rata Lama Sekolah (RLS) di Provinsi Sumatera Utara dengan menekankan keterkaitan spasial antarwilayah.</p> <p>Metode: Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain studi eksploratif terhadap 33 kabupaten/kota di Sumatera Utara berdasarkan data sekunder tahun 2023, dengan teknik analisis autokorelasi spasial global menggunakan Moran's I dan autokorelasi spasial lokal menggunakan LISA berbasis matriks pembobotan <i>queen contiguity</i> yang diolah menggunakan perangkat lunak R.</p> <p>Hasil: Hasil penelitian menunjukkan adanya autokorelasi spasial positif yang signifikan, yang mengindikasikan bahwa distribusi RLS tidak bersifat acak melainkan membentuk pola pengelompokan wilayah, dengan identifikasi kluster High-High dan Low-Low serta outlier spasial berupa High-Low dan Low-High.</p> <p>Simpulan: Temuan ini memberikan kontribusi praktis sebagai dasar dalam perumusan kebijakan pendidikan berbasis wilayah, khususnya dalam menentukan prioritas intervensi pada wilayah dengan kategori rendah serta memanfaatkan potensi efek tumpahan dari wilayah maju untuk mengurangi ketimpangan pendidikan di Provinsi Sumatera Utara.</p>
<p>Keywords Spatial Autocorrelation; LISA; Moran's I; Average Years of Schooling; North Sumatra.</p>	<p>Abstract</p> <p>Purpose: This study aims to analyze the distribution pattern of Average Years of Schooling (ALS) in North Sumatra Province, emphasizing spatial interconnections between regions.</p> <p>Method: This study employed a quantitative approach with an exploratory study design in 33 districts/cities in North Sumatra, based on secondary data from 2023. Global spatial autocorrelation analysis techniques were used using Moran's I and local spatial autocorrelation using LISA based on a queen contiguity weighting matrix, processed using R software.</p> <p>Results: The results show significant positive spatial autocorrelation, indicating that the ALS distribution is not random but rather forms a regional clustering pattern, with the identification of High-High and Low-Low clusters, as well as spatial outliers in the form of High-Low and Low-High.</p> <p>Conclusion: These findings provide a practical contribution as a basis for formulating regional-based education policies, particularly in determining intervention priorities in low-income regions and utilizing the potential spillover effects from developed regions to reduce educational inequality in North Sumatra Province.</p>

PENDAHULUAN

Pendidikan merupakan salah satu indikator utama dalam menilai kualitas sumber daya manusia serta berperan penting dalam mendorong pembangunan ekonomi dan kesejahteraan

masyarakat. Tingkat pendidikan yang tinggi tidak hanya meningkatkan produktivitas individu, tetapi juga berkontribusi terhadap pertumbuhan ekonomi dan pengurangan ketimpangan sosial (Hanushek & Woessmann, 2020; Lashitew dkk., 2021). Oleh karena itu, pengukuran capaian pendidikan menjadi hal yang penting dalam perencanaan pembangunan. Salah satu indikator yang umum digunakan adalah Rata-rata Lama Sekolah (RLS), yang mencerminkan jumlah tahun pendidikan formal yang telah ditempuh oleh penduduk usia tertentu. Semakin tinggi nilai RLS, maka semakin baik tingkat pendidikan suatu wilayah (Badan Pusat Statistik, 2023; UNDP, 2025).

Di sisi lain, pemerataan pendidikan masih menjadi tantangan di berbagai daerah di Indonesia, terutama pada wilayah dengan kondisi geografis dan sosial ekonomi yang beragam seperti Provinsi Sumatera Utara. Perbedaan akses terhadap fasilitas pendidikan, infrastruktur, serta kondisi ekonomi masyarakat menyebabkan terjadinya variasi tingkat pendidikan antarwilayah (Suartana dkk., 2025; Kartika & Windiatma, 2022). Ketimpangan pendidikan tidak hanya terjadi dalam aspek akses dan kualitas pendidikan, tetapi juga menunjukkan pola distribusi spasial yang berbeda antarwilayah. Perbedaan kondisi geografis, karakteristik wilayah, dan distribusi sumber daya pendidikan dapat menyebabkan munculnya kesenjangan pendidikan antar daerah. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa distribusi pendidikan memiliki pola tertentu yang tidak acak, melainkan dipengaruhi oleh faktor lokasi dan lingkungan sekitar (Mishra dkk., 2023; Novanka & Mukasyaf, 2025). Sejalan dengan hal tersebut, Akbari (2023) menemukan bahwa ketimpangan regional berdasarkan indikator pendidikan cenderung memiliki pola spasial tertentu, sehingga pendekatan berbasis wilayah menjadi penting untuk mengidentifikasi persebaran ketimpangan pendidikan secara lebih komprehensif.

Dalam kajian ilmu spasial, analisis terhadap keterkaitan antarwilayah menjadi penting untuk memahami pola distribusi suatu fenomena. Pendekatan spasial memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi adanya kesamaan karakteristik antarwilayah yang berdekatan serta mendeteksi adanya pengelompokan wilayah dengan tingkat pendidikan tertentu. Menurut Anselin & Rey (2022) analisis berbasis spasial mampu memberikan pemahaman yang lebih komprehensif dibandingkan analisis konvensional karena mempertimbangkan dimensi lokasi dalam pengolahan data. Selain itu, perkembangan ilmu data spasial juga memungkinkan eksplorasi pola distribusi pendidikan secara lebih mendalam dan sistematis (Anselin, 2024; Zimmerman & Ver Hoef, 2024).

Sejumlah penelitian dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan bahwa indikator pendidikan cenderung memiliki pola distribusi yang dipengaruhi oleh faktor spasial. Studi oleh Harahap dkk. (2024) menemukan bahwa pembangunan pendidikan di Sumatera Utara menunjukkan pola distribusi yang tidak merata antarwilayah. Penelitian lain juga menunjukkan adanya pengaruh lingkungan sekitar terhadap capaian pendidikan suatu daerah, yang dikenal sebagai efek kedekatan wilayah atau *neighborhood effect* (Gálvez-Gamboa & García, 2025; Ponstiglione, 2022). Hal ini menunjukkan bahwa kondisi pendidikan suatu wilayah tidak berdiri sendiri, melainkan berkaitan dengan wilayah di sekitarnya (Anselin, 2022).

Berbagai penelitian telah mengkaji distribusi pendidikan, kajian yang secara khusus membahas pola persebaran Rata-rata Lama Sekolah di Provinsi Sumatera Utara dengan pendekatan spasial masih terbatas. Beberapa penelitian terdahulu lebih banyak berfokus pada tingkat nasional atau menggunakan pendekatan non-spasial (Syafei dkk., 2024; Hrp & Usiono, 2026). Oleh karena itu, diperlukan analisis yang lebih mendalam untuk memahami bagaimana

pola distribusi RLS serta faktor keterkaitan antarwilayah yang memengaruhinya (Rahma & Ulfah, 2025; Zahl-Thanem & Rye, 2024).

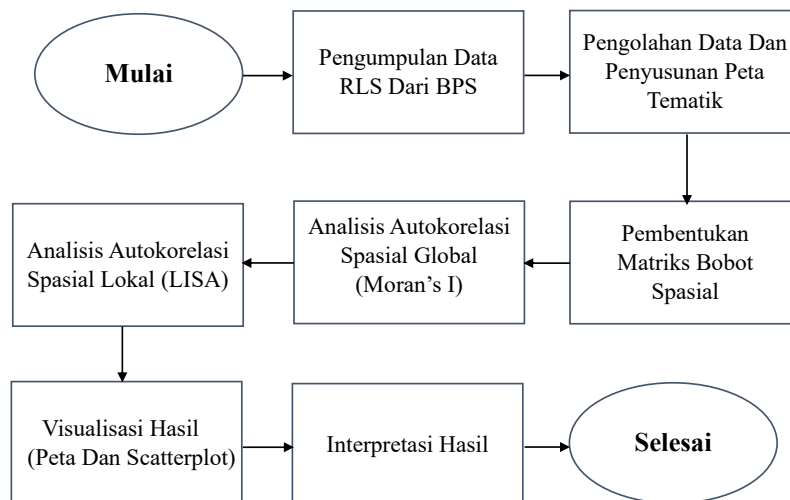
Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola distribusi Rata-rata Lama Sekolah (RLS) di Provinsi Sumatera Utara dengan mempertimbangkan aspek spasial antarwilayah. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai ketimpangan pendidikan serta menjadi dasar dalam perumusan kebijakan pembangunan pendidikan yang lebih tepat sasaran dan berbasis wilayah (OECD, 2021; World Bank, 2023).

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis spasial. Pendekatan ini digunakan untuk mengkaji pola distribusi serta keterkaitan antar wilayah berdasarkan nilai Rata-rata Lama Sekolah (RLS) dengan mempertimbangkan aspek lokasi geografis. Analisis spasial memungkinkan identifikasi hubungan antar wilayah yang tidak dapat dijelaskan melalui analisis statistik konvensional (Anselin, 2024)

Desain penelitian yang digunakan adalah studi eksploratif, yang bertujuan untuk mengidentifikasi adanya autokorelasi spasial baik secara global maupun lokal pada data RLS di Provinsi Sumatera Utara. Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis yang disajikan dalam diagram alur sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Subjek

Subjek dalam penelitian ini adalah seluruh wilayah administratif kabupaten/kota di Provinsi Sumatera Utara yang berjumlah 33 wilayah. Data yang digunakan merupakan data sekunder berupa indikator Rata-rata Lama Sekolah (RLS) yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik melalui publikasi resmi. Rata-rata Lama Sekolah (RLS) merupakan indikator pendidikan yang menunjukkan jumlah tahun pendidikan formal yang telah ditempuh oleh penduduk usia 15 tahun ke atas (BPS, 2023).

Data yang digunakan bersifat *cross-section*, yaitu menggambarkan kondisi pada satu periode waktu tertentu. Teknik sampling yang digunakan adalah total sampling, dimana seluruh populasi dijadikan sebagai sampel penelitian.

Instrumen

Instrumen dalam penelitian ini berupa data numerik Rata-rata Lama Sekolah (RLS) serta data spasial berupa peta administrasi Provinsi Sumatera Utara dalam format shapefile. Data spasial digunakan untuk membangun hubungan antar wilayah melalui matriks pembobotan spasial (*spatial weight matrix*). Pembobotan spasial merupakan komponen penting dalam analisis spasial karena menentukan struktur keterkaitan antar wilayah (Anselin, 2024). Matriks pembobotan yang digunakan adalah *queen contiguity*, yaitu wilayah dianggap bertetangga apabila memiliki sisi atau titik sudut yang bersinggungan menggunakan fungsi `poly2nb` dalam R. Pemilihan *queen contiguity* didasarkan pada kemampuannya dalam menangkap hubungan spasial yang lebih luas karena mempertimbangkan persinggungan sisi maupun titik sudut antarwilayah. Pendekatan ini dinilai sesuai untuk karakteristik wilayah administratif kabupaten/kota di Provinsi Sumatera Utara yang memiliki bentuk geografis beragam, sehingga keterkaitan antarwilayah dapat direpresentasikan secara lebih komprehensif dibandingkan pembobotan yang hanya mempertimbangkan persinggungan sisi. Secara matematis, matriks pembobotan spasial dinyatakan sebagai berikut:

$$W_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jika wilayah } i \text{ bertetangga dengan wilayah } j \\ 0, & \text{jika tidak bertetangga} \end{cases}$$

Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif digunakan untuk memberikan gambaran umum mengenai distribusi data RLS pada masing-masing wilayah. Statistik yang digunakan meliputi nilai minimum, maksimum, rata-rata, median, dan kuartil.

2. Pembentukan Matriks Bobot Spasial

Matriks bobot spasial digunakan untuk merepresentasikan hubungan kedekatan antar wilayah dan menjadi dasar dalam analisis spasial. Hubungan kedekatan antar wilayah dibentuk menggunakan metode *queen contiguity* dengan fungsi `poly2nb`, yang kemudian dikonversikan menjadi matriks bobot spasial menggunakan `nb2listw`.

3. Analisis Autokorelasi Spasial Global (Moran's I)

Autokorelasi spasial global digunakan untuk mengidentifikasi apakah terdapat pola keterkaitan antar wilayah secara keseluruhan.

$$I = \frac{n}{S_0} \cdot \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}$$

Dengan keterangan:

I = Moran's I

n = jumlah wilayah

x_i = nilai RLS wilayah ke- i

\bar{x} = rata-rata RLS

w_{ij} = bobot spasial

S_0 = jumlah seluruh bobot

Hipotesis yang digunakan:

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

$H_1: I \neq 0$ (terdapat autokorelasi spasial)

Interpretasi:

$I > 0$ pola mengelompok (*cluster*)

$I < 0$ pola menyebar

$I \approx 0$ acak

4. Analisis Autokorelasi Spasial Lokal (LISA)

Lisa digunakan untuk mengidentifikasi pola autokorelasi spasial secara lokal pada masing-masing wilayah.

$$I_i = (x_i - \bar{x}) \sum_j w_{ij} (x_j - \bar{x})$$

Hasil LISA diklasifikasikan ke dalam empat kategori:

- *High-High* (HH): wilayah dengan nilai tinggi dikelilingi wilayah bernilai tinggi
- *Low-Low* (LL): wilayah dengan nilai rendah dikelilingi wilayah bernilai rendah
- *High-Low* (HL): wilayah dengan nilai tinggi dikelilingi wilayah bernilai rendah
- *Low-High* (LH): wilayah dengan nilai rendah dikelilingi wilayah bernilai tinggi

5. Visualisasi Spasial

Hasil analisis divisualisasikan dalam bentuk:

- Peta tematik RLS
- Moran *Scatterplot*
- Peta *Cluster* LISA

Visualisasi ini bertujuan untuk memperjelas pola distribusi dan keterkaitan spasial antar wilayah.

6. Perangkat Lunak

Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak R yang merupakan bahasa pemrograman untuk analisis statistik dan data spasial, dengan bantuan beberapa package seperti sf untuk pengolahan data spasial, spdep untuk analisis autokorelasi spasial seperti Moran's I dan LISA, dan tmap digunakan untuk visualisasi peta tematik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

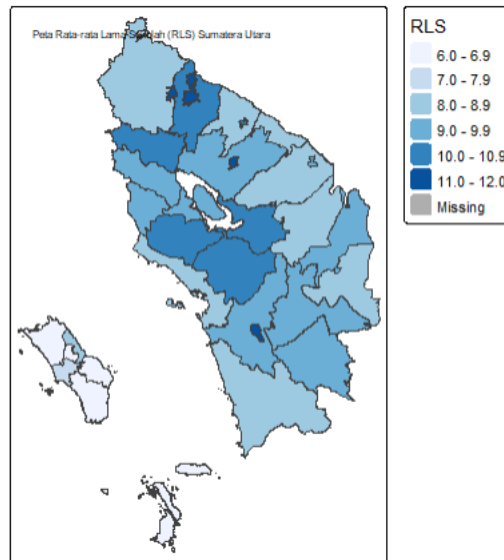
Analisis terhadap Rata-rata Lama Sekolah (RLS) di Provinsi Sumatera Utara diawali dengan penyajian statistik deskriptif untuk memberikan gambaran umum data. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai RLS memiliki variasi antar wilayah, dengan nilai minimum sebesar 6,14 tahun dan maksimum sebesar 11,62 tahun. Nilai rata-rata RLS tercatat sebesar 9,38 tahun. Ringkasan statistik disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Statistik Deskriptif RLS

Statistik	Nilai
Minimum	6.14
Kuartil 1	8.84

Median	9.51
Mean	9.38
Kuartil 3	10.09
Maksimum	11.62

Distribusi spasial RLS selanjutnya divisualisasikan dalam bentuk peta untuk melihat pola persebaran antar wilayah.



Gambar 2. Peta Rata-rata Lama Sekolah (RLS) Sumatera Utara

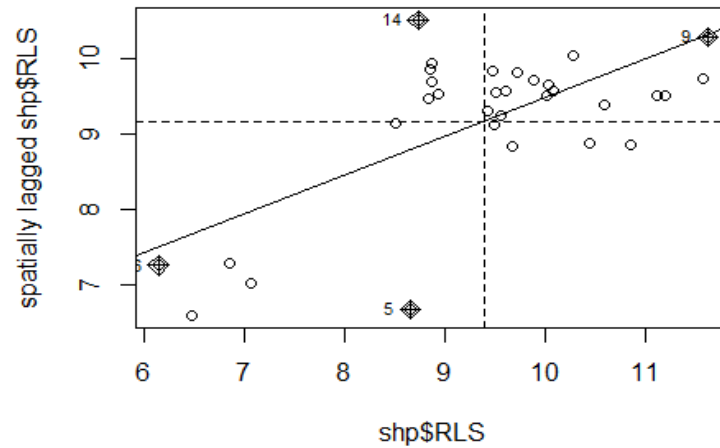
Selanjutnya, untuk menguji keterkaitan spasial antar wilayah, dilakukan analisis autokorelasi spasial menggunakan Moran's I. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Moran's I

Parameter	Nilai
Moran's I	0.509
Expected I	-0.031
Variance	0.018
p-value	0.000032

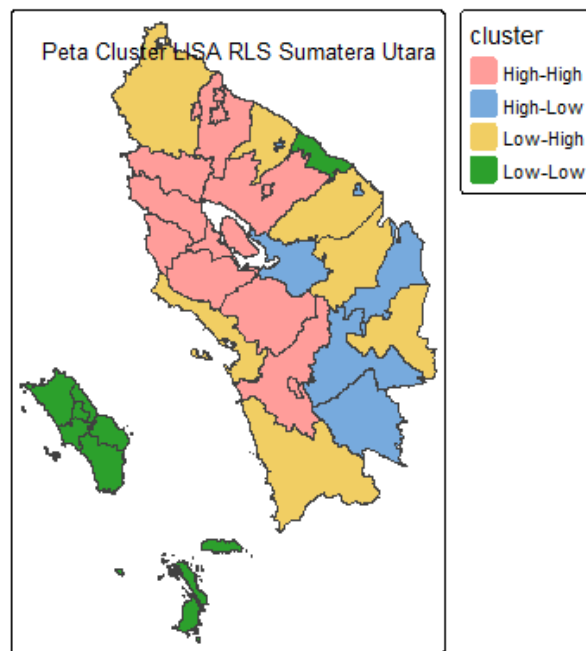
Nilai Moran's I sebesar 0,509 dengan p-value < 0,05 menunjukkan adanya autokorelasi spasial yang signifikan.

Visualisasi hubungan spasial antar wilayah ditampilkan melalui Moran scatterplot pada Gambar 3.



Gambar 3. Moran Scatterplot RLS

Scatterplot menunjukkan distribusi data ke dalam empat kuadran, yaitu *High-High*, *Low-Low*, *High-Low*, dan *Low-High*. Untuk memperoleh gambaran yang lebih rinci, analisis dilanjutkan menggunakan *Local Indicators of Spatial Association* (LISA).



Gambar 4. Peta Cluster LISA RLS

Tabel 3. Wilayah dengan Autokorelasi Spasial Lokal Signifikan

Wilayah	Nilai Ii	Pseudo p-value	Cluster
Tapanuli Utara	1.139	0.000260	Low-Low
Pakpak Barat	3.950	0.000107	Low-Low
Samosir	3.127	0.000062	Low-Low
Serdang Bedagai	4.631	0.000837	Low-Low
Batu Bara	3.051	0.001990	Low-Low

Hasil analisis LISA menunjukkan adanya cluster High-High, Low-Low, High-Low, dan Low-High yang mencerminkan variasi keterkaitan spasial antar wilayah. Berdasarkan nilai

pseudo p-value dengan taraf signifikansi 5%, terdapat beberapa wilayah yang menunjukkan autokorelasi spasial lokal yang signifikan, yaitu Tapanuli Utara, Pakpak Barat, Samosir, Serdang Bedagai, dan Batu Bara. Wilayah-wilayah tersebut tergolong dalam cluster Low-Low, yang menunjukkan bahwa wilayah dengan nilai Rata-rata Lama Sekolah rendah cenderung berdekatan dengan wilayah lain yang juga memiliki nilai rendah.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan adanya autokorelasi spasial positif yang signifikan pada data RLS di Provinsi Sumatera Utara. Nilai Moran's I yang positif mengindikasikan bahwa wilayah dengan tingkat pendidikan tinggi cenderung berdekatan dengan wilayah dengan tingkat pendidikan tinggi lainnya, dan sebaliknya. Kondisi ini menunjukkan bahwa distribusi RLS tidak bersifat acak, melainkan dipengaruhi oleh faktor spasial.

Kedekatan geografis memungkinkan adanya kesamaan dalam akses terhadap fasilitas pendidikan, infrastruktur, serta kondisi sosial ekonomi antarwilayah. Dominasi kuadran High-High dan Low-Low pada Moran scatterplot menunjukkan adanya pengelompokan wilayah dengan karakteristik pendidikan yang serupa. Cluster High-High mencerminkan wilayah dengan tingkat pembangunan pendidikan yang relatif baik, sedangkan cluster Low-Low menunjukkan wilayah dengan keterbatasan akses pendidikan. Temuan ini sejalan dengan penelitian Harahap dkk. (2024) yang menyatakan bahwa pembangunan pendidikan memiliki pola spasial yang mengelompok.

Sementara itu, pola High-Low dan Low-High mengindikasikan adanya outlier atau ketidaksesuaian spasial antarwilayah. Hasil analisis LISA memberikan gambaran yang lebih rinci mengenai ketimpangan lokal antarwilayah. Berdasarkan Tabel 3, wilayah yang menunjukkan autokorelasi spasial lokal signifikan pada taraf signifikansi 5% adalah Tapanuli Utara, Pakpak Barat, Samosir, Serdang Bedagai, dan Batu Bara yang tergolong dalam cluster Low-Low. Kondisi ini menunjukkan adanya konsentrasi wilayah dengan capaian Rata-rata Lama Sekolah yang relatif rendah dan saling berdekatan secara geografis. Variasi tersebut dapat dipengaruhi oleh perbedaan distribusi sumber daya, kebijakan pembangunan, dan kondisi geografis antarwilayah. Temuan ini mengindikasikan bahwa ketimpangan pendidikan tidak hanya dipengaruhi oleh faktor internal wilayah, tetapi juga interaksi spasial dan kemungkinan spillover effect antarwilayah (Mishra dkk., 2023; Umaroh, 2026).

Implikasi

Penelitian ini memperkuat konsep dalam analisis spasial bahwa indikator pendidikan tidak terdistribusi secara acak, melainkan dipengaruhi oleh keterkaitan geografis antar wilayah. Temuan ini juga menegaskan pentingnya pendekatan spasial dalam mengidentifikasi ketimpangan pendidikan secara lebih komprehensif. Secara praktis, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar bagi pemerintah provinsi serta pemerintah kabupaten/kota dalam merumuskan kebijakan pembangunan pendidikan berbasis wilayah. Intervensi kebijakan dapat difokuskan pada daerah dengan kategori *Low-Low* yang menunjukkan ketertinggalan. Selain itu, potensi *spillover effect* dapat dimanfaatkan dengan mengoptimalkan wilayah yang sudah maju sebagai pusat pengembangan pendidikan bagi wilayah di sekitarnya

Keterbatasan dan Rekomendasi Penelitian Lanjutan

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, analisis hanya menggunakan satu indikator pendidikan yaitu RLS, sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi pendidikan secara komprehensif. Kedua, penelitian ini belum memasukkan variabel lain seperti faktor ekonomi, infrastruktur, dan kebijakan daerah yang berpotensi memengaruhi pola spasial pendidikan. Ketiga, pendekatan yang digunakan masih bersifat *cross-section* sehingga belum mampu menggambarkan dinamika perubahan antar waktu. Keempat, penelitian ini hanya menggunakan matriks pembobot spasial berbasis *queen contiguity*. Penggunaan satu jenis matriks pembobot dapat menjadi keterbatasan karena hasil analisis autokorelasi spasial, termasuk nilai Moran's I dan identifikasi *cluster*, berpotensi dipengaruhi oleh struktur pembobot yang digunakan. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan analisis sensitivitas dengan membandingkan beberapa jenis matriks pembobot untuk mengevaluasi konsistensi hasil analisis spasial dan menggunakan lebih banyak indikator pendidikan seperti angka partisipasi sekolah atau indeks pendidikan, mengintegrasikan variabel sosial ekonomi, menggunakan pendekatan spasial-temporal, serta mengembangkan model ekonometrika spasial untuk menghasilkan analisis yang lebih komprehensif.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian Rata-rata Lama Sekolah (RLS) di Provinsi Sumatera Utara menunjukkan variasi antar wilayah yang cukup besar dan belum merata, sehingga mencerminkan adanya ketimpangan pendidikan. Hasil uji Moran's I sebesar 0,509 yang signifikan mengindikasikan adanya autokorelasi spasial positif, di mana pola persebaran RLS cenderung membentuk pengelompokan geografis. Temuan dari Moran scatterplot dan LISA menunjukkan adanya cluster High-High dan Low-Low serta beberapa outlier (High-Low dan Low-High), yang menegaskan adanya kesenjangan antar wilayah. Oleh karena itu, diperlukan kebijakan pendidikan berbasis wilayah guna meningkatkan pemerataan dan mengurangi ketimpangan pendidikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbari, M. (2023). Spatial analysis of regional inequalities in Iran based on educational indicator. *Journal of Geography and Regional Future Studies*, 1(1), 1-17. <https://doi.org/10.30466/grfs.2023.121355>
- Anselin, L. (2022). Spatial econometrics. *Handbook of spatial analysis in the social sciences*, 101-122. <https://doi.org/10.4337/9781789903942.00014>
- Anselin, L. (2024). An introduction to spatial data science with GeoDa: Volume 1: Exploring spatial data. Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9781003274919>
- Anselin, L., & Rey, S. J. (2022). Open source software for spatial data science. *Geographical Analysis*, 54(3), 429-438. <https://doi.org/10.1111/gean.12339>
- Badan Pusat Statistik. (2023). Rata-rata lama sekolah menurut provinsi di Indonesia. <https://sumut.bps.go.id/id/statistics-table/2/NzcyjMg==/rata-rata-lama-sekolah.html>
- Gálvez-Gamboa, F. A., & García, L. Y. (2025). Analysis of the Neighborhood Effect in School Performance and Impact on Inequality. *Education Sciences*, 15(10), 1391. <https://doi.org/10.3390/educsci15101391>

- Hanushek, E. A., & Woessmann, L. (2020). Education, knowledge capital, and economic growth. *The economics of education*, 171-182. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815391-8.00014-8>
- Harahap, M. H., Siregar, H., Rustiadi, E., & Pravitasari, A. E. (2024). Analysis of the spatial distribution patterns of education infrastructure development (A case study of 33 regencies/city in North Sumatra Province). *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 8(11), 1-26. <https://doi.org/10.24294/jipd.v8i11.8624>
- Hrp, J. H., & Usiono, U. (2026). Analisis Kebijakan Pemerintahan dalam Mengatasi Kesenjangan Pendidikan Antara Wilayah Perkotaan dan Pedesaan. *JURNAL TIPS JURNAL RISET, PENDIDIKAN DAN ILMU SOSIAL*, 3(2), 102-108.
- Huntoyungo, Y., Kuswari, H., Firnaherera, V. A., Fitri, H. Z., & Rosadi, A. I. (2025). Moran's I Index and KKN-Based LISA: Spatial Analysis of Toddler Stunting in Indonesia 2024. *Jurnal Bina Praja*, 17(2). <https://doi.org/10.21787/jbp.17.2025-2888>
- Kartika, C. S. D., Yudita, A. K., & Windiatma, K. A. (2022). Analisis autokorelasi spasial ketimpangan gender kabupaten/kota di pulau jawa menggunakan indeks moran dan lisa (spatial autocorrelation analysis of districts/cities gender inequality in java island using moran index and lisa). *J SIG (Jurnal Sains Informasi Geografi)*, 4(2), 90-98. <http://dx.doi.org/10.31314/jsig.v4i2.1040>
- Lashitew, A. A., Ross, M. L., & Werker, E. (2021). What drives successful economic diversification in resource-rich countries?. *The World Bank Research Observer*, 36(2), 164-196. <https://doi.org/10.1093/wbro/lkaa001>
- Mishra, A., Mishra, A., & Pandey, G. (2023). Spatial inequality and education: unraveling the geographical dimensions of educational disparities. *Techno Learn*, 13(1), 29-43.
- Novanka, AA, & Mukasyaf, AA (2025). Analisis spasial pola persebaran fasilitas pendidikan tingkat SMA dan SMK negeri di Kabupaten Pematang. *EL-JUGHRAFIYAH*, 5 (2), 436-447. <http://dx.doi.org/10.24014/jej.v5i2.38014>
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2021). *Education at a glance 2021: OECD indicators*. OECD Publishing.
- Postiglione, P. (2022). *Spatial econometric methods in agricultural economics using R*. CRC Press.
- Rahma, F., & Ulfah, S. Z. (2025). Clustering students based on academic performance and social factors: an unsupervised learning approach to identify student patterns. *International Journal for Applied Information Management*, 5(3), 139-154. <https://doi.org/10.47738/ijaim.v5i3.109>
- Suartana, I. M., Dangin, G. R., Wahyudi, I. G. K., & Werang, B. R. (2025). Educational inequality in Indonesia. *International Journal of Education, Vocational and Social Science*, 4(4), 1140–1147. <https://doi.org/10.63922/ijevss.v4i04.2565>
- Syafei, M., Tambunan, A., Qodratulloh, J., Zam'an, P., Kosasih, A., Mubarak, E. S., Firmansyah, M. I., Surahman, C., Hakim, L., Hermawan, W., Fakhruddin, A., Sudarso, S., Nurhayati., Solehudin, H., Sahroni., Nurudin, A., Trisolvena, M. N., Hartati, W., Maulani, A., ... Kamaluddin, M. (2024). *Inovasi pendidikan dalam multiperspektif* (W. Qodratulloh S., Ed.). Lekkas.

- Umaroh, R. (2026). Spatial Mapping and Determinants of Micro and Small Industry Concentration in Rural Areas of East Java Province. *East Java Economic Journal*, 10(1), 1-23. <https://doi.org/10.53572/ejavec.v10i1.213>
- United Nations Development Programme (UNDP). (2025). *Human development report 2025: A matter of choice: People and possibilities in the age of AI*. Stylus Publishing, LLC.
- World Bank. (2023). *Education and development report*. World Bank.
- Zahl-Thanem, A., & Rye, J. F. (2024). Spatial inequality in higher education: a growing urban–rural educational gap?. *European Sociological Review*, 40(6), 1067-1081. <https://doi.org/10.1093/esr/jcae015>
- Zhang, X., Li, G., & Chen, Y. (2022). Spatial inequality in education development: A regional analysis. *Applied Geography*, 143, 102702. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102702>
- Zimmerman, D. L., & Ver Hoef, J. M. (2024). *Spatial linear models for environmental data*. Chapman and Hall/CRC.