

Analisis Kluster Bentuk Lahan Dengan Pendekatan Indeks Moran dan *Local Indicators of Spatial Association* (LISA) di Kabupaten Gorontalo

*Sri Rahmawati Habie¹

¹ Ilmu Perencanaan Wilayah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Indonesia

*Corresponding Author, Email: srirahmawatihabie9@gmail.com

Abstrak

Bentuk lahan mencerminkan interaksi antara proses geologi, hidrologi, dan aktivitas manusia, yang memengaruhi kapasitas wilayah dalam mendukung aktivitas sosial-ekonomi. Penelitian ini menganalisis pola spasial bentuk lahan di Kabupaten Gorontalo dan hubungannya dengan kepadatan penduduk menggunakan Indeks Moran dan *Local Indicators of Spatial Association* (LISA). Data meliputi peta bentuk lahan, batas administrasi wilayah, dan kepadatan penduduk tahun 2024. Analisis dilakukan secara global (*Moran's I*), lokal (LISA), pendekatan median, serta *Bivariate Moran's I*. Hasil menunjukkan distribusi bentuk lahan relatif acak dengan autokorelasi lemah, sementara kepadatan penduduk cenderung berlawanan antar wilayah. Pendekatan median dan analisis bivariat mengungkap struktur spasial tersembunyi dan outlier seperti "Low-High" dan "High-Low", menunjukkan ketidaksesuaian lokal antara karakter fisik dan tekanan demografis. Temuan ini menekankan pentingnya pendekatan mikro spasial adaptif dalam perencanaan ruang serta perlunya mempertimbangkan variabel tambahan untuk pengembangan wilayah berkelanjutan.

Kata kunci: Bentuk Lahan, Kepadatan Penduduk, *Moran's I*, LISA, Pola Spasial

Abstract

Landforms reflect interactions among geological, hydrological, and human processes, influencing a region's capacity to support socio economic activities. This study analyzes spatial patterns of landforms in Gorontalo Regency and their relationship with population density using Moran's I and Local Indicators of Spatial Association (LISA). Data include landform maps, administrative boundaries, and 2024 population density. Analyses were conducted globally (Moran's I), locally (LISA), using the median approach, and Bivariate Moran's I. Results indicate that landform distribution is relatively random with weak spatial autocorrelation, whereas population density shows contrasting patterns across neighboring areas. Median and bivariate analyses reveal hidden spatial structures and outliers (Low-High, High-Low), reflecting local mismatches between physical terrain and demographic pressure. These findings highlight the importance of adaptive micro-spatial planning and the consideration of additional variables for sustainable regional development.

Keywords: Landform, Population Density, *Moran's I*, LISA, Spatial Pattern

I. PENDAHULUAN

Bentuk lahan merupakan hasil interaksi kompleks antara proses geologi, hidrologi, dan aktivitas manusia yang berlangsung dalam waktu lama. Karakteristik bentuk lahan menjadi dasar dalam memahami variasi kondisi fisik wilayah, termasuk topografi, drainase, serta kemampuan lahan dalam mendukung aktivitas manusia (Budiyanto & Wijaya, 2022). Pemahaman terhadap sebaran bentuk lahan penting untuk menilai potensi dan keterbatasan suatu wilayah, terutama dalam konteks pengelolaan ruang dan mitigasi risiko lingkungan.

Geomorfologi, sebagai cabang ilmu yang mempelajari bentuk permukaan bumi, memberikan landasan untuk menilai struktur dan proses pembentuk lahan (Nasruddin et al., 2020). Setiap satuan bentuk lahan memiliki kapasitas yang berbeda dalam menampung aktivitas sosial ekonomi, misalnya pertanian di dataran rendah atau pemukiman di perbukitan landai. Oleh sebab itu, analisis terhadap distribusi dan pola spasial bentuk lahan diperlukan untuk mengidentifikasi keterkaitan antar wilayah serta potensi pengembangannya.

Salah satu metode yang umum digunakan adalah *spatial autocorrelation*, yang mengukur sejauh mana nilai suatu variabel di satu lokasi memiliki keterkaitan dengan nilai di lokasi sekitarnya. Indeks Moran digunakan untuk menganalisis pola autokorelasi spasial secara global, sedangkan *Local Indicators of Spatial Association* (LISA) mengidentifikasi klaster lokal atau wilayah yang memiliki kesamaan nilai tinggi maupun rendah (Anselin, 1995; Utomo, 2023). Metode ini telah banyak diterapkan dalam berbagai bidang, seperti analisis kemiskinan (Santi, Pravitasari, & Lubis, 2023), kerentanan lingkungan (Masrurroh, Irawan, & Anam, 2024), dan pola penggunaan lahan (Sholihin et al., 2024). Namun, penerapan analisis autokorelasi spasial untuk mengidentifikasi pola distribusi bentuk lahan masih jarang dilakukan, terutama dalam konteks wilayah dengan kondisi geomorfologi yang heterogen seperti Kabupaten Gorontalo.

Kabupaten Gorontalo memiliki variasi bentuk lahan yang mencakup dataran, lembah sungai, perbukitan, dan pegunungan vulkanik. Perbedaan karakteristik fisik tersebut berpotensi menciptakan variasi pola spasial yang menarik untuk dikaji, terutama dalam hubungannya dengan kepadatan penduduk sebagai representasi aktivitas manusia di atas lahan. Analisis pola spasial bentuk lahan menggunakan Indeks Moran dan LISA diharapkan dapat mengungkap pola pengelompokan (*cluster*) bentuk lahan dan keterkaitannya dengan distribusi kepadatan penduduk. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis klusterisasi bentuk lahan di Kabupaten Gorontalo menggunakan pendekatan Indeks Moran dan LISA. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran pola spasial geomorfologi wilayah yang berguna sebagai dasar pengembangan analisis lanjutan terkait kesesuaian lahan dan pengelolaan ruang berbasis kondisi fisik wilayah.

II. METODE

Penelitian ini memanfaatkan data spasial dan sosial yang terdiri dari peta bentuk lahan yang diklasifikasikan berdasarkan kemiringan atau geomorfologi, batas administrasi wilayah (desa/kecamatan), dan data kepadatan penduduk tahun 2024. Peta bentuk lahan digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik fisik wilayah, sementara batas administrasi menjadi unit analisis spasial yang memungkinkan integrasi data sosial. Data kepadatan penduduk diperoleh dari Badan Pusat Statistik dan dihitung dalam satuan jiwa per kilometer persegi.

Seluruh data dikonversi ke sistem proyeksi spasial yang seragam, yaitu UTM Zona 51N, untuk memastikan konsistensi dalam pengukuran spasial. Harmonisasi sistem koordinat sangat penting untuk menghindari distorsi spasial yang dapat memengaruhi hasil analisis (Jiao & Liu, 2012; Zhang, 2020). Integrasi data dilakukan melalui proses *join atribut*, di mana variabel kepadatan penduduk ditambahkan ke *shapefile* wilayah administrasi berdasarkan ID atau nama wilayah. Validasi awal dilakukan dengan analisis statistik deskriptif untuk memeriksa distribusi nilai, mengidentifikasi outlier, dan memastikan tidak ada nilai kosong (Bone et al., 2013; Liang et al., 2017).

Metode analisis yang digunakan menggabungkan pendekatan statistik spasial global dan lokal untuk mengidentifikasi pola distribusi dan hubungan spasial antara bentuk lahan dan kepadatan penduduk. Tahapan pertama adalah pembuatan matriks bobot spasial menggunakan pendekatan *Queen contiguity*, yang mempertimbangkan kedekatan wilayah berdasarkan sisi dan titik.

Matriks ini kemudian distandarisasi secara baris (*row standardized*) untuk menghasilkan bobot spasial *W* yang digunakan dalam analisis autokorelasi (Anselin, 1995; Monzur, 2015).

Analisis *Global Moran's I* dilakukan secara univariat untuk masing-masing variabel. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengidentifikasi apakah terdapat pola pengelompokan spasial (*clustering*) secara keseluruhan dalam wilayah studi. Nilai indeks *Moran's I* yang positif menunjukkan adanya pengelompokan spasial, sedangkan nilai negatif menunjukkan pola tersebar. Uji signifikansi dilakukan dengan menggunakan nilai *p-value* untuk menilai kekuatan statistik dari pola yang terdeteksi (Ord & Getis, 1995; Zhang, 2020).

Adapun analisis *Bivariate Moran's I* digunakan untuk mengevaluasi hubungan spasial antara dua variabel tersebut. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi apakah wilayah dengan karakteristik bentuk lahan tertentu (misalnya curam) cenderung memiliki kepadatan penduduk yang rendah atau tinggi. Analisis bivariat ini memperluas pemahaman terhadap interaksi spasial antara kondisi fisik dan sosial (Liang et al., 2017; Wang et al., 2021).

Selanjutnya, analisis LISA dilakukan untuk masing-masing variabel secara univariat. LISA memungkinkan identifikasi klaster lokal seperti *High-High* (HH), *Low-Low* (LL), *High-Low* (HL), dan *Low-High* (LH), yang menunjukkan hubungan spasial antara suatu wilayah dan tetangganya. Hasil LISA divisualisasikan dalam bentuk peta klaster, yang kemudian dapat dibandingkan antara variabel bentuk lahan dan kepadatan penduduk untuk melihat kesesuaian atau ketidaksesuaian pola spasial (Anselin, 1995; Penn State, 2023; eBrary, 2020).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Klasifikasi bentuk lahan menjadi langkah awal yang krusial dalam memahami dinamika spasial wilayah kajian. Dalam penelitian ini, bentuk lahan dibagi ke dalam lima kelas geomorfologi berdasarkan proses pembentukan dan karakteristik morfologis dominan, yaitu fluvial datar, fluvial transisi, vulkanik datar hingga sedang, karstik dan vulkanik berbukit, serta tektonik pegunungan. Pembagian kelas ini mengacu pada Peraturan Menteri PU No.41/PRT/M/2007 dan Van Zuidam 1985, serta mempertimbangkan relevansi praktis terhadap potensi genangan, tingkat erosi, dan aksesibilitas lahan. Rincian karakteristik masing-masing kelas disajikan pada tabel berikut.

Tabel 1. Klasifikasi Kelas Bentuk Lahan

Kelas	Kategori Geomorfologi	Bentuk lahan
1	Fluvial Datar	Basin lakustrin, Depresi aluvial
2	Fluvial-Transisi	Dasar lembah, Dataran aluvial, Dataran banjir sungai meander, Kipas aluvial, Jalur aliran
3	Vulkanik Datar-Sedang	Dataran vulkan tua, Instrusi vulkan
4	Karstik dan Vulkanik Berbukit	Dataran karst, Perbukitan karst, Perbukitan vulkan tua
5	Tektonik-Pegunungan Tinggi	Perbukitan tektonik, Pegunungan vulkan tua

Sumber: Peraturan Menteri PU No.41/PRT/M/2007 dan Van Zuidam 1985

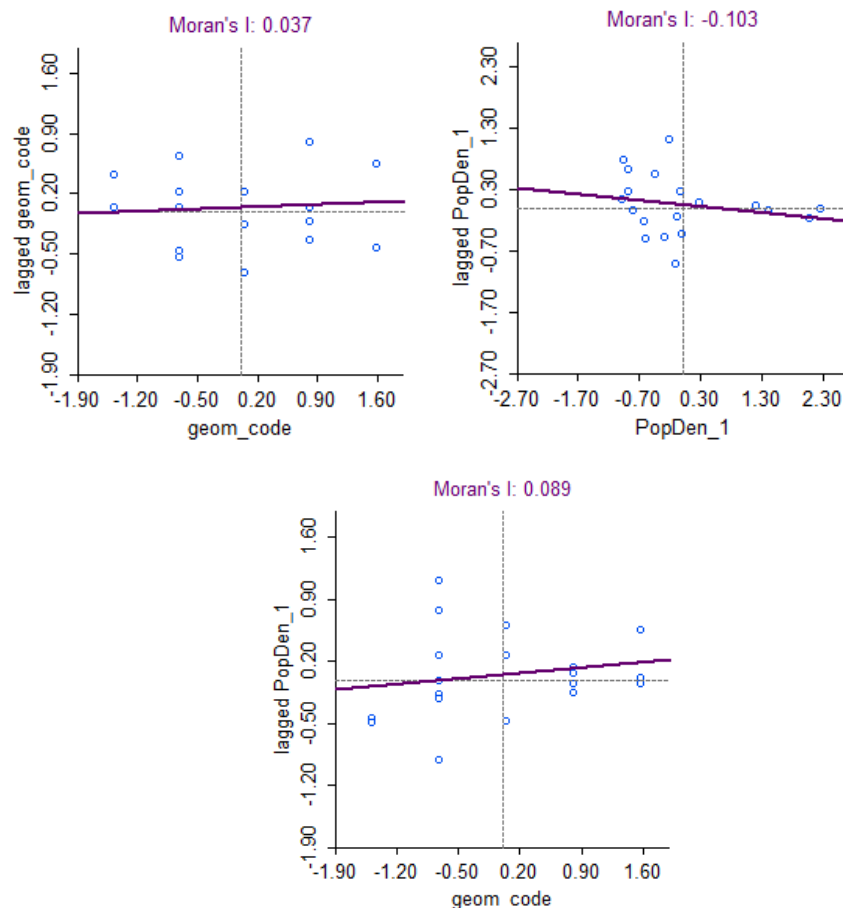
III.1 Pola Keterkaitan Spasial

Analisis spasial terhadap variabel geomorfologi dan kepadatan penduduk dilakukan untuk memahami pola keterkaitan spasial yang mungkin terjadi antar unit wilayah. Gambar 1 menunjukkan *scatter plot* autokorelasi internal geomorfologi dan kepadatan penduduk dengan rata-rata nilai tetangganya. Pada hasil analisis variabel geomorfologi nilai *Moran's I* sebesar 0,037 mengindikasikan adanya autokorelasi spasial positif yang sangat lemah, yang berarti bahwa bentuk lahan antar unit spasial tidak menunjukkan pola pengelompokan yang kuat. Distribusi

geomorfologi di wilayah kajian cenderung tersebar secara acak, tanpa dominasi spasial yang konsisten. Hal ini dapat mencerminkan bahwa pengaruh bentuk lahan terhadap struktur spasial bersifat lokal dan tidak homogen.

Temuan autokorelasi spasial lemah pada bentuk lahan di Kabupaten Gorontalo ini sejalan dengan penelitian Coca, O., & Ricaurte-Villota, C. (2022) yang menemukan *Moran's I* serendah 0,0190 di pesisir Pasifik Kolombia, dan mengaitkannya dengan kompleksitas geomorfologi yang tinggi. Nilai yang hampir identik juga dilaporkan oleh Li *et al.* (2026) pada ekosistem karst (*Moran's I* = 0,038-0,083) yang menegaskan bahwa autokorelasi spasial lemah merupakan indikator heterogenitas habitat yang melas, bukan kelemahan statistik. Namun demikian, hasil ini tidak dapat digeneralisasi secara mutlak. Yan *et al.* (2021) menemukan autokorelasi spasial positif yang kuat pada karakteristik lahan di ekosistem *red beds* (*Moran's I* = 0,1665-0,2174), sementara Liu *et al.* (2025) melaporkan *Moran's I* setinggi 0.97 untuk pengelompokan topografi di Dataran tinggi Qinghai-Tibet. Perbedaan ini menunjukkan bahwa kekuatan autokorelasi spasial bentuk lahan sangat dipengaruhi oleh konteks regional, skala analisis, dan metode klasifikasi yang digunakan.

Sebaliknya, analisis univariat pada variabel kepadatan penduduk menghasilkan nilai *Moran's I* sebesar -0,103. Angka ini menunjukkan adanya kecenderungan autokorelasi negatif yang sangat lemah, yang mengindikasikan bahwa distribusi kepadatan penduduk antar wilayah bertetangga cenderung heterogen atau membentuk pengelompokan homogen yang signifikan secara regional.



Gambar 1. Grafik Scatter Plot Variabel dan Antar Variabel
 Sumber: Analisis, 2025

Untuk menguji hubungan silang antara bentuk lahan dan kepadatan penduduk di sekitarnya, dilakukan analisis terhadap geomorfologi dan kepadatan penduduk. Hasilnya menunjukkan nilai *Moran's I* sebesar 0,089, yang meskipun masih tergolong lemah, lebih tinggi dibandingkan autokorelasi internal masing-masing variabel. Nilai ini mengindikasikan adanya kecenderungan positif antara tipe geomorfologi suatu wilayah dan kepadatan penduduk di lingkungan sekitarnya. Artinya, bentuk lahan tertentu memiliki pengaruh terbatas namun terdeteksi terhadap pola kepadatan penduduk di sekitarnya. Garis regresi yang menunjukkan tren positif memperkuat interpretasi ini, bahwa karakteristik fisik wilayah dapat berasosiasi dengan kondisi demografis di sekitarnya. Secara keseluruhan, ketiga hasil tersebut menunjukkan bahwa autokorelasi spasial dalam konteks wilayah kajian bersifat lemah, namun tetap memberikan indikasi awal yang penting. Distribusi bentuk lahan tidak menunjukkan pola spasial yang kuat, sementara kepadatan penduduk memperlihatkan kecenderungan spasial yang saling berseberangan. Hubungan silang antara bentuk lahan dan kepadatan penduduk di sekitar menunjukkan potensi keterkaitan struktural yang dapat dijadikan dasar untuk analisis lanjutan.

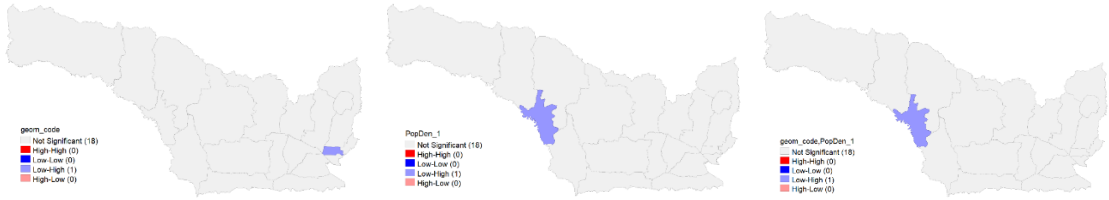
Sebagai kelanjutan dari analisis autokorelasi spasial global, dilakukan pendekatan LISA untuk mengidentifikasi pola kluster lokal dan outlier spasial pada masing-masing variabel. Hasil LISA untuk variabel kepadatan penduduk menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah (18 kecamatan) tergolong dalam kategori "*Not Significant*", yang berarti tidak terdapat pola spasial yang konsisten secara statistik. Namun, terdapat satu wilayah yang masuk dalam kategori "*Low-High*", yaitu wilayah dengan kepadatan penduduk rendah yang dikelilingi oleh wilayah berkepadatan tinggi. Keberadaan outlier spasial ini penting untuk dicermati karena dapat mengindikasikan ketidaksesuaian fungsi ruang, hambatan aksesibilitas, atau kondisi fisik yang membatasi pemanfaatan lahan secara optimal.

Hasil serupa juga ditemukan pada analisis LISA terhadap variabel geomorfologi. Hampir seluruh wilayah kembali tergolong "*Not Significant*", dengan hanya satu unit wilayah yang teridentifikasi sebagai "*Low-High*". Artinya, wilayah tersebut memiliki bentuk lahan yang tergolong rendah (misalnya dataran atau zona transisi), namun dikelilingi oleh wilayah dengan bentuk lahan yang lebih ekstrem atau curam. Pola ini dapat mencerminkan adanya transisi geomorfologis yang tidak seragam, atau potensi tekanan spasial dari wilayah sekitar yang memiliki karakteristik fisik berbeda.

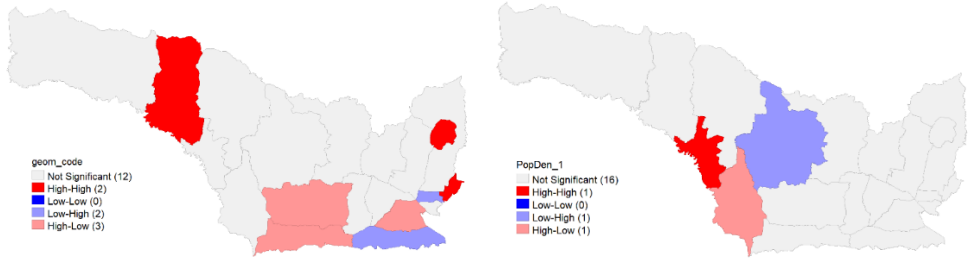
Ketidakhadiran kluster "*High-High*" maupun "*Low-Low*" pada kedua variabel menunjukkan bahwa tidak terdapat konsentrasi spasial yang kuat, baik untuk kepadatan penduduk maupun bentuk lahan. Hal ini memperkuat temuan sebelumnya bahwa autokorelasi spasial dalam wilayah kajian bersifat lemah dan tidak membentuk pola pengelompokan yang signifikan. Namun, keberadaan outlier "*Low-High*" pada kedua variabel tetap relevan untuk dianalisis lebih lanjut, terutama dalam konteks perencanaan wilayah yang responsif terhadap ketimpangan spasial.

Analisis LISA juga dilakukan melalui pendekatan *Univariate Median Local Moran's I* juga dilakukan untuk mengidentifikasi kluster lokal dan outlier spasial dengan mempertimbangkan nilai median sebagai ukuran sentral, sehingga lebih tahan terhadap pengaruh ekstrem atau outlier yang dapat mendistorsi hasil analisis berbasis mean. Hasil analisis menunjukkan adanya peningkatan sensitivitas dalam mendeteksi pola spasial yang sebelumnya tidak teridentifikasi secara signifikan pada pendekatan LISA konvensional. Beberapa wilayah yang sebelumnya tergolong "*Not Significant*" dalam analisis berbasis rata-rata, kini menunjukkan indikasi kluster spasial yang lebih jelas, baik dalam bentuk "*High-High*" maupun "*Low-Low*". Selain itu, wilayah dengan karakteristik ekstrem seperti "*Low-High*" dan "*High-Low*" juga terdeteksi lebih konsisten,

memperkuat interpretasi bahwa terdapat ketimpangan spasial yang bersifat lokal dan tidak homogen.



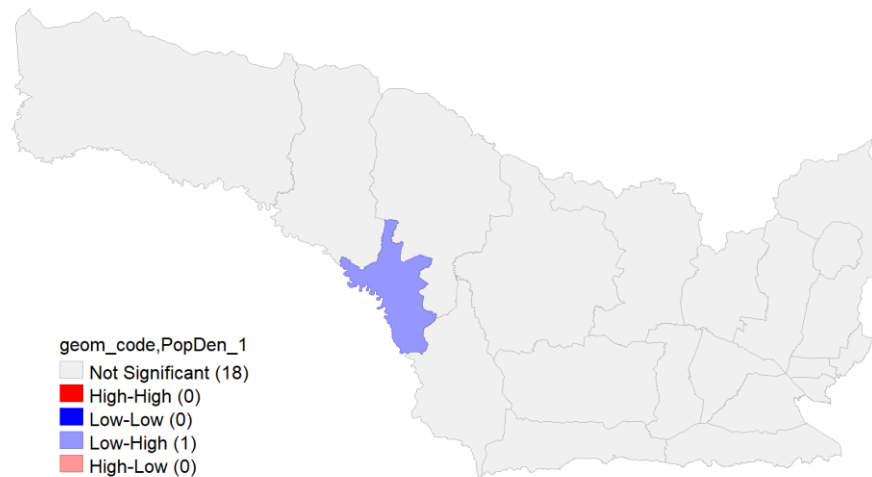
Gambar 2. Peta Analisis *Bivariate Moran's I* Antara Bentuk Lahan dan Kepadatan Penduduk
Sumber: Analisis, 2025



Gambar 2. Peta Analisis dengan Pendekatan *Univariate Median Local Moran's I* Bentuk Lahan dan Kepadatan Penduduk
Sumber: Analisis, 2025

Struktur spasial yang terdeteksi melalui pendekatan median memberikan kontribusi penting dalam memahami dinamika wilayah yang tersembunyi di balik distribusi agregat. Dengan menggunakan median sebagai basis analisis, pola spasial yang bersifat struktural dan tidak terpengaruh oleh nilai ekstrem dapat diungkap secara lebih akurat. Hal ini sangat relevan dalam konteks wilayah dengan heterogenitas tinggi, seperti kawasan transisi geomorfologis atau wilayah dengan tekanan demografis yang tidak merata.

Setelah pendekatan univariat berhasil mengungkap pola spasial internal masing-masing variabel, analisis dilanjutkan dengan *Bivariate Moran's I* untuk mengeksplorasi hubungan spasial antara bentuk lahan dan kepadatan penduduk. Tujuannya bukan sekadar melihat apakah keduanya berkorelasi, tetapi apakah karakteristik fisik suatu wilayah turut memengaruhi kondisi demografis di sekitarnya. Dengan kata lain, analisis ini menguji apakah bentuk lahan dapat “menular” secara spasial terhadap pola kepadatan penduduk di wilayah tetangga.



Gambar 3. Peta Analisis *Bivariate Moran's I* Bentuk Lahan dan Kepadatan Penduduk
Sumber: Analisis, 2025

Hasil visualisasi menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah berada dalam kategori “*Not Significant*”, memperkuat temuan sebelumnya bahwa pola spasial dalam wilayah kajian cenderung lemah dan tidak membentuk kluster homogen. Namun, dua wilayah muncul sebagai pengecualian yang menarik: satu tergolong “*Low-High*”, yaitu wilayah dengan bentuk lahan rendah yang dikelilingi oleh wilayah dengan kepadatan tinggi, dan satu lagi “*High-Low*”, yakni wilayah dengan bentuk lahan tinggi yang dikelilingi oleh wilayah dengan kepadatan rendah. Kedua outlier ini tidak hanya menyimpang dari pola umum, tetapi juga membuka ruang interpretasi baru terkait ketimpangan spasial dan potensi tekanan demografis lintas batas fisik.

Jika dibandingkan dengan hasil *Median Local Moran's I* sebelumnya, pola yang terdeteksi melalui analisis bivariat ini memberikan lapisan pemahaman tambahan. Median berhasil mengungkap struktur spasial internal yang tersembunyi, sementara pendekatan bivariat memperlihatkan bagaimana dua variabel yang berbeda dapat saling berinteraksi secara spasial. Dalam konteks wilayah transisi geomorfologis atau area dengan tekanan demografis yang tidak merata, temuan ini menjadi relevan untuk mengidentifikasi wilayah yang mungkin mengalami ketidaksesuaian fungsi ruang atau membutuhkan intervensi kebijakan yang lebih adaptif.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan rangkaian analisis spasial yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa bentuk lahan di Kabupaten Gorontalo menunjukkan distribusi yang relatif acak dengan autokorelasi spasial yang lemah, sebagaimana tercermin dari nilai *Moran's I* yang rendah dan dominasi kategori “*Not Significant*” dalam hasil LISA. Meskipun demikian, pendekatan median dan analisis bivariat berhasil mengungkap struktur spasial yang lebih tersembunyi, termasuk keberadaan outlier spasial seperti “*Low-High*” dan “*High-Low*” yang mengindikasikan ketidaksesuaian antara karakteristik fisik dan tekanan demografis di tingkat lokal.

Pendekatan *Univariate Median Local Moran's I* memberikan sensitivitas yang lebih tinggi dalam mendeteksi kluster spasial yang tidak teridentifikasi melalui metode konvensional, sementara *Bivariate Moran's I* memperlihatkan adanya interaksi spasial antara bentuk lahan dan kepadatan

penduduk, meskipun dalam skala yang terbatas. Temuan ini menegaskan bahwa meskipun pola pengelompokan spasial tidak dominan secara regional, terdapat dinamika lokal yang penting untuk diperhatikan dalam konteks perencanaan dan pengelolaan ruang.

Pola pengelompokan spasial bentuk lahan dan kepadatan penduduk di Kabupaten Gorontalo tergolong lemah secara regional namun menunjukkan dinamika lokal yang signifikan, arah perencanaan tata ruang sebaiknya difokuskan pada pendekatan mikro spasial yang adaptif dan berbasis bukti. Wilayah-wilayah yang teridentifikasi sebagai outlier spasial seperti “Low-High” dan “High-Low” perlu menjadi prioritas intervensi, baik dalam hal peningkatan aksesibilitas, penyesuaian fungsi ruang, maupun pengendalian tekanan demografis. Untuk memperkaya analisis dan memperkuat dasar perencanaan, disarankan agar variabel tambahan seperti aksesibilitas jalan, tutupan lahan, indeks kemiskinan, dan ketersediaan fasilitas dasar turut dimasukkan dalam kajian spasial lanjutan, sehingga strategi pengembangan wilayah dapat dirumuskan secara lebih kontekstual, inklusif, dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), 93–115. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>
- Bone, C., Dragicevic, S., & Roberts, A. (2013). A fuzzy-constrained agent-based model of settlement dynamics. *Computers, Environment and Urban Systems*, 41, 34–45. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2013.03.003>
- Budiyanto, E., & Wijaya, A. (2022). Analisis bentuk lahan dan pemanfaatannya terhadap perubahan tata guna lahan di Kabupaten Sleman. *Jurnal Geografi Lingkungan*, 6(1), 45–56.
- Coca, O., & Ricaurte-Villota, C. (2022). Spatial analysis of geomorphological complexity in the Colombian Pacific coast. *Journal of Coastal Research*, 38(4), 780–795.
- eBrary. (2020). Local Moran's I - Spatial analysis with R. https://ebrary.net/217235/geography/local_moran_s
- Jiao, L., & Liu, Y. (2012). Spatial analysis on urban land use patterns: A case study of Wuhan, China. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 961–970. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.089>
- Liang, X., Li, X., & Wang, L. (2017). A bivariate spatial autocorrelation analysis of land use and population density. *Sustainability*, 9(6), 1042. <https://doi.org/10.3390/su9061042>
- Liu, Y., et al. (2025). Topographic clustering and spatial autocorrelation in the Qinghai-Tibet Plateau. *Geomorphology*, 430, 108–120.
- Masrurroh, L., Irawan, A., & Anam, M. (2024). Comprehensive spatial analysis for landslide susceptibility and zoning prioritization. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(2), 12345–12360.
- Monzur, T. (2015). Local spatial auto-correlation calculation. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/283352610>
- Nasruddin, N., Wibowo, A., & Mahmud, I. (2020). Klasifikasi geomorfologi untuk perencanaan tata ruang. *Jurnal Geomorfologi Indonesia*, 4(2), 112–124.
- Ord, J. K., & Getis, A. (1995). Local spatial autocorrelation statistics: Distributional issues and an application. *Geographical Analysis*, 27(4), 286–306. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00912.x>
- Penn State University. (2023). Project 4: Local indicators of spatial association. *GEOG 586: Spatial Analysis*. <https://www.e-education.psu.edu/geog586/node/673>
- Santi, E., Pravitasari, A. E., & Lubis, I. (2023). Mapping of spatial distribution and spatial autocorrelation patterns of poverty in all regencies/cities in Indonesia. *Journal of Applied Geospatial Information*, 4(1), 45–54.
- Sholihin, M., Erda, G., Sari, P. D., Wicaksono, A. S., & Faiz, S. (2024). Analysis of the spatial

- distribution pattern of poverty percentage in Central Java using the spatial autocorrelation approach. *Theta: Journal of Statistics*, 5(1), 22–31.
- Utomo, D. L. (2023). Analisis autokorelasi spasial pada kampung reforma agraria di Kabupaten Buleleng. *Jurnal Pertanahan*, 13(2), 87–96.
- Wang, J., Zhang, Y., & Li, Y. (2021). Spatial autocorrelation analysis of urban form and population distribution in China. *Urban Studies*, 58(12), 2456–2474. <https://doi.org/10.1177/0042098020968102>
- Yan, R., et al. (2021). Spatial autocorrelation of land characteristics in red beds ecosystems. *Catena*, 202, 105-118.
- Zhang, Y. (2020). Spatial autocorrelation analysis of urban heat island and land use. *Remote Sensing*, 12(3), 456. <https://doi.org/10.3390/rs12030456>