

Analisis Spasial Faktor Sosial, Pelayanan Kesehatan, dan Lingkungan terhadap Kasus COVID-19 di Jawa Tengah

Iqbal Ardiansyah^{1*}, Muhammad Rifqi Maulana¹, Susiyanti Susiyanti¹, Sugeng Abdullah¹, Agus Subagiyo¹, Arif Widyanto¹, Rusyda Ihwani Tantia Nova²

¹ Jurusan Kesehatan Lingkungan, Poltekkes Kemenkes Semarang, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah 53151, Indonesia

² Jurusan Promosi Kesehatan, Poltekkes Kemenkes Bandung, Indonesia

*Corresponding author: sayhalotoiqbal@gmail.com

Info Artikel: Diterima 21 Juli 2025; Direvisi 21 Agustus 2025; Disetujui 1 September 2025

Tersedia online: 4 September 2025; Diterbitkan secara teratur: Oktober 2025



Cara sitasi: Ardiansyah I, Maulana MR, Susiyanti S, Abdullah S, Subagiyo A, Widyanto A, Nova RIT. Analisis Spasial Faktor Sosial, Pelayanan Kesehatan, dan Lingkungan terhadap Kasus COVID-19 di Jawa Tengah. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia [Online]. 2025 Oct;24(3):351-362. <https://doi.org/10.14710/jkli.76257>.

ABSTRAK

Latar belakang: Tahun 2022, tingkat positif di Jawa Tengah 40,9% melampaui ambang batas WHO (< 5%). COVID-19 menunjukkan pola yang kompleks oleh berbagai variabel seperti, sosial pelayanan kesehatan, dan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keterkaitan antara faktor sosial, pelayanan kesehatan, dan lingkungan terhadap distribusi spasial tingkat kerentanan kasus COVID-19 di Provinsi Jawa Tengah.

Metode: Penelitian kuantitatif dengan desain ekologi eksploratori. Unit analisis 35 kabupaten/kota di Jawa Tengah. Data agregat tahun 2022 dengan variabel dependen jumlah kumulatif kasus COVID-19. Variabel independen faktor sosial (jumlah penduduk, jumlah penduduk miskin, tingkat pengangguran, tingkat pendidikan penduduk usia >15 tahun, indeks pembangunan manusia (IPM), jumlah turis domestik, Jumlah turis mancanegara), faktor pelayanan kesehatan (jumlah tenaga kesehatan, jumlah tenaga sanitasi lingkungan, akses terhadap sanitasi layak, dan akses terhadap air minum layak). faktor lingkungan (curah hujan rata-rata, kelembapan udara, suhu rata-rata, serta kecepatan angin luas wilayah, serta elevasi rata-rata wilayah). Data diperoleh dari instansi nasional (BPS dan Dinkes Provinsi Jawa Tengah) dan internasional (NASA). Dianalisis menggunakan pemodelan regresi *Ordinary Least Squares* dengan teknik *stepwise backward elimination* serta validasi uji asumsi klasik dan autokorelasi spasial. Hasil Pemodelan visualisasikan dengan bentuk peta distribusi tingkat kerentanan berbasis kuartil.

Hasil: Variabel yang berasosiasi dengan kasus COVID-19 adalah jumlah penduduk ($B = 0,0164$), jumlah penduduk miskin ($B = -0,0951$), jumlah wisatawan domestik ($B = 0,0047$), jumlah tenaga kesehatan ($B = 3,3453$), dan suhu rata-rata ($B = -2638,61$) dengan kekuatan prediktif model ($R^2 = 0,9266$). Distribusi spasial menunjukkan wilayah dengan tingkat kerentanan sangat tinggi seperti Kota dan Kabupaten Semarang, Kota Surakarta, Kabupaten Magelang, Kabupaten Klaten, Kabupaten Banyumas dan Kabupaten Banjarnegara.

Simpulan: Faktor sosial (jumlah penduduk, jumlah penduduk miskin, wisatawan domestik), Faktor Pelayanan Kesehatan (jumlah tenaga kesehatan), dan Lingkungan (suhu rata-rata) merupakan determinan signifikan dengan kasus COVID-19 Jawa Tengah. Distribusi spasial menunjukkan 6 wilayah di Jawa Tengah memiliki tingkat kerentanan Sangat tinggi.

Kata kunci: Lingkungan; Corona; Pandemi; studi ekologi; kerentanan

ABSTRACT

Title: Spatial Analysis of Social, Health Service, and Environmental Factors Associated with COVID-19 Cases in Central Java

Background: In 2022, the positivity rate in Central Java reached 40.9%, surpassing the WHO threshold (<5%). COVID-19 displays a complex pattern driven by various variables, including social conditions, healthcare services, and environmental factors. This study aims to analyze the association of social conditions, healthcare services, and environmental factors with the spatial distribution of COVID-19 vulnerability in Central Java Province.

Method: This quantitative study employed an exploratory ecological design. The analytical units comprised the 35 regencies and cities of Central Java. The study used aggregated 2022 data and set the cumulative number of COVID-19 cases as the dependent variable. Independent variables included social factors (total population, number of people in poverty, unemployment rate, education level of the population aged over 15 years, Human Development Index (HDI), number of domestic tourists, and number of international tourists); healthcare service factors (number of healthcare workers, number of environmental sanitation personnel, access to adequate sanitation, and access to safe drinking water); and environmental factors (mean rainfall, humidity, average temperature, wind speed, territorial area, and mean elevation). The study obtained data from national agencies (Statistics Indonesia (BPS) and Provincial Health Office of Central Java) and international sources (NASA). The study analyzed the data using Ordinary Least Squares (OLS) regression with backward stepwise elimination and validated the classical OLS assumptions and spatial autocorrelation. The study visualized the modeling results as quartile-based maps showing the spatial distribution of vulnerability.

Result: Variables associated with COVID-19 cases were total population ($B = 0.0164$), number of people living in poverty ($B = -0.0951$), number of domestic tourists ($B = 0.0047$), number of healthcare workers ($B = 3.3453$), and mean temperature ($B = -2638.61$). The model exhibited strong predictive power ($R^2 = 0.9266$). Spatial distribution showed areas with very high vulnerability, including Semarang City and Semarang Regency, Surakarta City, Magelang Regency, Klaten Regency, Banyumas Regency, and Banjarnegara Regency.

Conclusion: Social factors (total population, number of people living in poverty, and number of domestic tourists), the healthcare service factor (number of healthcare workers), and the environmental factor (mean temperature) were significant determinants of COVID-19 cases in Central Java. Spatial analysis identified six areas in Central Java with very high vulnerability.

Keywords: Environment; Coronavirus; Pandemic; ecological studies; vulnerability

PENDAHULUAN

Pandemi COVID-19 di nyatakan oleh WHO pada 12 Maret 2020 yang berdampak pada hampir setiap dimensi kehidupan dunia.¹ Asia Tenggara menghadapi lonjakan kasus COVID-19 karena penyebaran varian seperti Alpha, Beta, Delta, dan Omicron, yang menjadi tantangan untuk membatasi penularan virus tetap terjadi.² Negara Indonesia, terlepas dari penurunan kasus yang signifikan sejak puncak pandemi 2022, kesulitan dalam membatasi penularan virus tetap terjadi. Awal Mei 2025, telah terjadi kenaikan kasus di negara terdekat seperti Singapura melaporkan 14.200 infeksi aktif, Thailand melebihi 69.000 kasus, sementara Hong Kong menunjukkan tingkat positif 13,66%.³ Jawa Tengah, sebagai salah satu provinsi strategis di Indonesia, menghadapi insiden COVID-19 yang relatif tinggi, pada tahun 2022, tingkat positif di Jawa Tengah tercatat sebesar 40,9%, dan melampaui ambang batas yang direkomendasikan WHO yaitu kurang dari 5%.⁴ Menunjukkan bahwa provinsi Jawa Tengah mengalami kendala mengelola pandemi pada masa itu.

Variasi spasial dalam jumlah kasus antar wilayah kabupaten/kota menunjukkan bahwa penyebaran COVID-19 tidak hanya ditentukan oleh karakteristik biomedis semata, tetapi juga oleh faktor sosial, pelayanan kesehatan, dan lingkungan.⁵ Fenomena ini menegaskan pentingnya pendekatan

berbasis wilayah (*spatial-based approach*) dalam memahami pola kerentanan dan penularan penyakit menular di tingkat lokal.⁶ Dalam konteks kesehatan masyarakat, pendekatan ekologi spasial menjadi semakin relevan karena mampu mengevaluasi distribusi penyakit berdasarkan interaksi antara faktor struktural, lingkungan fisik, dan mobilitas populasi.⁷ Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa COVID-19 tidak menyebar secara merata, melainkan membentuk pola geografis tertentu yang dipengaruhi oleh determinan sosial seperti kemiskinan, kepadatan penduduk, akses layanan kesehatan, dan variabel lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan curah hujan.^{8,9} Eksplorasi terhadap faktor-faktor yang berkontribusi pada variasi spasial insidensi COVID-19 sangat penting sebagai dasar kebijakan intervensi berbasis wilayah.

Masalah utama yang dihadapi dalam penanganan COVID-19 di tingkat daerah adalah belum optimalnya pemanfaatan data spasial dan determinan sosial dalam penyusunan kebijakan kesehatan. Sebagian besar kebijakan masih bersifat generik dan nasional, tanpa mempertimbangkan heterogenitas karakteristik wilayah. Wilayah dengan kepadatan penduduk tinggi, mobilitas yang intens, dan iklim yang mendukung viabilitas virus cenderung memiliki risiko penularan yang lebih tinggi.¹⁰ Wilayah dengan tingkat kemiskinan tinggi dan keterbatasan akses layanan

kesehatan sering mengalami *underreporting*, sehingga tampak memiliki angka kasus yang rendah, padahal kerentanannya tinggi.^{11,12} Sebagai solusi umum, pendekatan analisis spasial berbasis ekologi dapat digunakan untuk memetakan risiko dan distribusi kerentanan penyakit menular. Analisis ini tidak hanya memungkinkan identifikasi wilayah prioritas intervensi, tetapi juga mengintegrasikan faktor sosial dan lingkungan dalam satu kerangka analitis. Model ini telah banyak diterapkan di berbagai negara, seperti India, Nigeria, dan Brasil, yang memiliki karakteristik geografis dan sosial serupa dengan Indonesia.^{13–15} Hanya saja, penerapannya di tingkat provinsi di Indonesia, terutama dengan unit analisis kabupaten/kota secara menyeluruh, masih sangat terbatas. Solusi spesifik yang ditawarkan dalam studi ini adalah penggunaan pendekatan spasial dan visualisasi risiko berbasis kuartil dari variabel-variabel yang signifikan. Dilanjutkan dengan dilakukan validasi statistik dan spasial, termasuk uji normalitas, heteroskedastisitas, dan autokorelasi spasial menggunakan Moran's I dan LISA. Metode ini memungkinkan analisis yang lebih *robust* dan hasil yang dapat dijadikan dasar untuk menyusun kebijakan kesehatan berbasis bukti (*evidence-based policy*) yang sesuai dengan karakteristik lokal.

Penelitian ini mengacu pada pendekatan teori *Social Determinants of Health* (SDOH) yang menekankan bahwa kondisi sosial, ekonomi, dan lingkungan tempat tinggal masyarakat sangat memengaruhi status kesehatannya.⁵ Dalam kajian ini, variabel seperti jumlah penduduk, penduduk miskin, akses air bersih, jumlah tenaga kesehatan, dan suhu lingkungan dianalisis secara spasial untuk mengevaluasi hubungan multivariat terhadap jumlah kasus COVID-19. Kajian ini juga merujuk pada hasil studi terdahulu yang menemukan bahwa suhu rendah⁹, kepadatan penduduk¹⁰, dan mobilitas wisatawan¹⁶ menjadi faktor peningkat risiko penularan. Terdapat gap riset yang signifikan dalam literatur, pertama, sebagian besar studi terdahulu di Indonesia masih terbatas pada skala nasional atau kota tertentu, sehingga kurang representatif untuk menggambarkan kerentanan di tingkat administratif yang lebih kecil, kedua, banyak penelitian tidak mengintegrasikan uji asumsi spasial secara menyeluruh, sehingga validitas model belum maksimal¹⁷, Ketiga, kurangnya kajian yang secara eksplisit mengecualikan variabel jumlah tenaga kesehatan dari peta kerentanan untuk menghindari bias sistem pelaporan, padahal hal ini penting untuk menjaga objektivitas visualisasi risiko.^{18,19}

Berdasarkan latar belakang tersebut, studi ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor sosial, pelayanan kesehatan, dan lingkungan yang memengaruhi variasi spasial kasus COVID-19 di Provinsi Jawa Tengah tahun 2022. Kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan unit analisis kabupaten/kota secara menyeluruh di satu provinsi dengan integrasi pendekatan statistik dan spasial. Studi

ini juga menyajikan pemetaan kuartil kerentanan, serta membangun model prediktif berbasis bukti yang dapat dijadikan dasar untuk pengambilan keputusan berbasis wilayah.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini merupakan studi kuantitatif dengan pendekatan *exploratory ecology* yang bertujuan untuk memahami keterkaitan spasial antara berbagai determinan sosial, pelayanan kesehatan, serta faktor lingkungan terhadap jumlah kasus kumulatif COVID-19 di Provinsi Jawa Tengah. Pendekatan ekologi dipilih karena unit analisisnya berupa wilayah administratif kabupaten dan kota, sehingga memungkinkan eksplorasi pola-pola distribusi spasial dan pemetaan risiko kesehatan berbasis geografi.²⁰ Studi ini dilaksanakan pada seluruh kabupaten dan kota yang ada di Provinsi Jawa Tengah (35 wilayah administratif), dengan menggunakan data agregat tahun 2022 yang tersedia secara publik dari instansi resmi. Seluruh variabel yang digunakan ditentukan berdasarkan kerangka *Social Determinants of Health* (SDOH) dari *World Health Organization*.⁵ yang dikombinasikan dengan faktor-faktor lingkungan yang relevan dalam epidemiologi penyakit infeksi. Seluruh data sosial dan kesehatan diperoleh dari Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah dan Dinas Kesehatan, sedangkan data iklim dan lingkungan diperoleh dari platform *POWER Data Access Viewer* milik *National Aeronautics and Space Administration* (NASA).^{4,21,22} Data diunduh dalam format digital dan kemudian dikompilasi dalam basis data spasial menggunakan *Microsoft Excel*, sebelum dianalisis menggunakan perangkat lunak *QGIS* untuk pemetaan geospasial dan *GeoDa* untuk pemodelan statistik spasial.

Variabel dependen dalam penelitian ini adalah jumlah kumulatif kasus COVID-19 per kabupaten/kota. Variabel independen diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok utama yaitu faktor sosial meliputi jumlah penduduk, jumlah penduduk miskin, tingkat pengangguran, tingkat pendidikan penduduk usia >15 tahun, indeks pembangunan manusia (IPM), jumlah turis domestik, Jumlah turis mancanegara. faktor pelayanan kesehatan yang terdiri dari jumlah tenaga kesehatan, jumlah tenaga sanitasi lingkungan, akses terhadap sanitasi layak, dan akses terhadap air minum layak. faktor lingkungan yang mencakup data iklim seperti curah hujan rata-rata, kelembapan udara, suhu rata-rata, serta kecepatan angin, luas wilayah, serta elevasi rata-rata wilayah.^{5,7,9,15,23–25}

Prosedur analisis data diawali dengan penyusunan *spatial weight matrix* menggunakan pendekatan *Queen Contiguity* untuk menangkap hubungan spasial antarwilayah.^{26,27} Selanjutnya, dilakukan analisis regresi *Ordinary Least Squares* (OLS) dengan teknik *stepwise backward elimination* untuk menyaring variabel-variabel yang tidak signifikan secara statistik.²⁸ Setelah model akhir diperoleh, dilakukan pengujian terhadap asumsi-asumsi statistik guna memastikan validitas model,

meliputi uji normalitas residual dengan metode *Shapiro-Wilk*, uji multikolinearitas melalui *Variance Inflation Factor (VIF)*, serta uji heteroskedastisitas dengan *Breusch-Pagan Test*. Mengingat unit analisis bersifat spasial, pengujian autokorelasi spasial juga dilakukan dengan *Moran's I Scatter plot*, *LISA Map (Local Indicators of Spatial Association)*, dan *Moran's I Error* untuk mengevaluasi apakah terdapat pola pengelompokan spasial pada residual model.²⁹ Hasil pengujian menunjukkan tidak adanya autokorelasi spasial yang signifikan, sehingga tidak diperlukan lanjutan analisis regresi spasial seperti *Spatial Lag Model (SAR)*, *Spatial Error Model (SEM)*, atau *Geographically Weighted Regression (GWR)*.^{29,30} Sebagai bagian dari interpretasi hasil, visualisasi spasial disusun berdasarkan kuartil nilai variabel risiko (1=Rendah, 2=Sadang, 3=Tinggi, 4=Sangat Tinggi) untuk mengidentifikasi wilayah dengan tingkat kerentanan tinggi terhadap kasus COVID-19.³¹ Strategi ini tidak hanya mendukung proses eksplorasi spasial, tetapi juga memungkinkan identifikasi spesifik wilayah yang memerlukan intervensi kebijakan lebih lanjut.

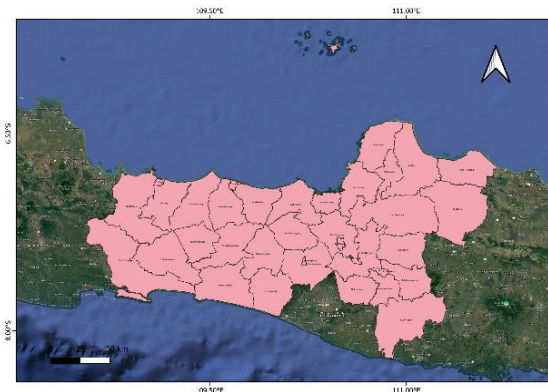
Penelitian ini dilaksanakan dengan mengedepankan prinsip-prinsip etika penelitian. Izin etik diperoleh dari *Komite Etik Penelitian Kesehatan Poltekkes Kemenkes Semarang* dengan surat persetujuan etik nomor 0631/EA/KEPK/2024. Seluruh data yang digunakan bersumber dari publikasi resmi instansi pemerintah atau platform data terbuka, sehingga tidak melibatkan data pribadi atau informasi identitas individu. Tidak ada modifikasi atau manipulasi terhadap data asli, dan semua sumber data dicantumkan secara transparan untuk menjaga akuntabilitas ilmiah. Penelitian ini juga mematuhi seluruh ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku terkait kerahasiaan data, hak cipta, dan penggunaan data publik dalam konteks riset ilmiah. Dengan demikian, proses penelitian tidak hanya memenuhi standar metodologis, tetapi juga menjunjung tinggi integritas dan etika ilmiah secara menyeluruh.³²

HASIL DAN PEMBAHASAN

Wilayah Study dan Karakteristik Wilayah

Dalam peta, setiap kabupaten/kota ditandai dengan batas administratif berwarna hitam dan area

berwarna merah muda, menunjukkan area studi yang menjadi objek pengamatan



Gambar 1. Peta Wilayah Study dengan Unit Kabupaten dan Kota di Provinsi Jawa Tengah

Wilayah studi dalam penelitian ini mencakup seluruh kabupaten dan kota administratif di Provinsi Jawa Tengah, Indonesia, sebagaimana ditampilkan dalam peta. Total terdapat 35 wilayah administratif yang terdiri dari 29 kabupaten dan 6 kota. Wilayah-wilayah ini membentuk satu kesatuan geografis yang terletak di bagian tengah Pulau Jawa, berbatasan langsung dengan Provinsi Jawa Barat di sebelah barat, Daerah Istimewa Yogyakarta dan Provinsi Jawa Timur di sebelah timur, serta Laut Jawa di sebelah utara dan Samudera Hindia di selatan. Sebaran wilayah mencakup daerah pesisir (seperti Kota Tegal, Kab. Jepara, Kab. Rembang, dan Kab. Brebes), dataran rendah perkotaan (seperti Kota Semarang dan Kota Surakarta), serta wilayah dataran tinggi dan pegunungan (seperti Kab. Wonosobo dan Kab. Banjarnegara).²²

Untuk memberikan gambaran awal mengenai karakteristik data yang digunakan dalam penelitian ini, disajikan analisis deskriptif terhadap seluruh variabel yang dianalisis. Penyajian ini bertujuan untuk menunjukkan sebaran, kecenderungan pusat, dan tingkat variasi antarwilayah kabupaten/kota di Provinsi Jawa Tengah, sebelum dilakukan analisis spasial lebih lanjut.

Tabel 1. Distribusi Frekuensi COVID-19, Sosial, Pelayanan Kesehatan dan Lingkungan di Provinsi Jawa Tengah Tahun 2022

Variabel	Mean	Median	SD	SE	Min	Maks
Jumlah Kumulatif Kasus COVID-19 (Kasus)	22274.6	19410	15492.06	2618.64	7475	90758
Rata-rata Ketinggian wilayah (mdpl)	140.43	55.11	195.13	32.98	5.19	794
Luas Wilayah (Km ²)	981.07	1008.12	582.05	98.38	18.56	2323.93
Jumlah Penduduk (Jiwa)	1058069	1033367	463551.6	78354.51	121675	2010617
Jumlah Penduduk Miskin (Orang)	109469.4	97180	61138.2	10334.24	8650	290650
Tingkat Pengangguran (%)	5.35	5.01	1.97	0.33	1.76	9.64
Tingkat Pendidikan Penduduk > 15 Tahun (Orang)	41.78	43.26	11.02	1.86	17.9	60.03
Indeks Pembangunan Manusia (%)	73.5	73.15	4.46	0.75	67.03	84.35
Turis Mancanegara (Orang)	4134.03	6	15059.65	2545.55	0	67754
Turis Domestik (Orang)	1327584	986729	1226521	207319.8	80290	5338233
Jumlah Nakes (Orang)	3870.66	3093	2549.73	430.98	1841	15797

Variabel	Mean	Median	SD	SE	Min	Maks
Jumlah Tenaga Sanitasi Lingkungan (Orang)	59.54	54	30.84	5.21	16	170
Akses Sanitasi Layak (%)	84.53	86.82	11.11	1.88	51.66	97.72
Akses Air Minum Layak (%)	94.07	94.67	4.65	0.79	81.85	99.96
Rata-Rata Curah Hujan (mm/hari)	7.52	7.1	0.95	0.16	6.28	9.7
Rata-Rata Kelembapan (%)	86.55	86.44	2.51	0.42	80.74	89.8
Rata-Rata Suhu (°C)	25.25	25.35	1.16	0.2	23.1	27.61
Rata-Rata Kecepatan Angin (m/detik)	1.71	1.65	0.35	0.06	1.36	2.96

Tabel distribusi frekuensi menunjukkan distribusi dan karakteristik 18 variabel penelitian. Variabel jumlah kumulatif kasus COVID-19, memiliki rata-rata 22.274,6 kasus dengan simpangan baku 15.492,06. Rentangnya lebar 7.475-90.758, menunjukkan disparitas beban kasus antarwilayah di Jawa Tengah. Untuk faktor sosial, variabel ketinggian wilayah sangat bervariasi 5,19-794 mdpl dengan rata-rata 140,43 mdpl, mencerminkan perbedaan topografi yang beragam. Luas wilayah kabupaten dan kota memiliki rata-rata 981,07 km² dengan variasi tinggi 18,56–2.323,93 km². jumlah penduduk berkisar antara 121.675-2.010.617 jiwa dengan mean 1.058.069 jiwa, sedangkan jumlah penduduk miskin memiliki nilai tengah 97.180 orang dan maksimum 290.650 orang, memperlihatkan kesenjangan sosial yang mencolok. Tingkat pengangguran rata-rata 5,35% dan tingkat pendidikan >15 tahun rata-rata 41,78% menunjukkan variasi sedang 17,9%-60,03%. Indeks pembangunan manusia relatif merata 67,03%-84,35%, dengan rata-rata 73,5%. Jumlah Turis mancanegara sangat timpang 0-67.754, dengan median hanya 6, menandakan ketimpangan kunjungan asing ekstrem. Turis domestik juga sangat bervariasi, dari 80.290- 5.338.233 orang.

Pada faktor pelayanan kesehatan, jumlah tenaga kesehatan bervariasi besar 1.841-15.797 orang, dengan rata-rata 3.870,66 orang. Tenaga sanitasi lingkungan berkisar 16-170 orang, sedangkan akses sanitasi layak

cukup tinggi secara umum dengan rata-rata 84,53%. Akses air minum juga menunjukkan akses yang relatif baik 81,85-99,96%. Untuk faktor lingkungan, curah hujan rata-rata 7,52 mm/hari, kelembapan rata-rata 86,55%, dan suhu rata-rata 25,25°C mencerminkan kondisi iklim tropis yang relatif seragam. Hanya kecepatan angin yang rendah rata-rata 1,71 m/detik, dengan variasi minimal. Data menunjukkan kemungkinan adanya heterogenitas spasial antar kabupaten/kota, khususnya pada dimensi sosial, kesehatan, dan lingkungan, yang secara potensial memengaruhi distribusi COVID-19 dan layak untuk dianalisis lebih lanjut dalam model spasial.

Pemodelan Regresi Ordinary Least Squares (OLS)

Proses uji regresi *Ordinary Least Squares* (OLS) dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh simultan beberapa variabel independen terhadap variabel dependen, yaitu jumlah kasus COVID-19 di Jawa Tengah. Langkah pertama dilakukan dengan memasukkan seluruh variabel kandidat ke dalam model awal (*full model*), kemudian diterapkan metode *stepwise backward elimination* untuk menyaring variabel yang tidak signifikan.²⁸ Dalam proses ini, variabel dengan nilai *p-value* tertinggi (> 0,05) dihapus satu per satu secara iteratif, hingga tersisa hanya variabel yang secara statistik signifikan.²⁸

Tabel 2. Hasil Pemodelan Akhir Regresi *Ordinary Least Squares* (OLS) dengan Metode Eliminasi *Stepwise Backward Elimination*

Variabel	Coefficient (B)	SE	t-Statistic	P-Value	VIF
const	62713.29	17915.49	3.5005	0.0015	0
Jumlah Penduduk (Jiwa)	0.0164	0.0042	3.8844	0.0005	6.3401
Jumlah Penduduk Miskin (Orang)	-0.0951	0.0289	-3.2929	0.0026	5.1388
Turis Domestik (Orang)	0.0047	0.0008	6.234	0.0001	1.4218
Jumlah Tenaga Kesehatan (Orang)	3.3453	0.422	7.9263	0.0001	1.9073
Rata-Rata Suhu (°C)	-2638.61	725.3807	-3.6376	0.0011	1.1617
R²			0.9266		
F-stat			73.2579		

Model akhir terdiri dari lima variabel yaitu jumlah penduduk, jumlah penduduk miskin, jumlah turis domestik, jumlah tenaga kesehatan dan rata-rata suhu udara. Seluruh variabel ini memiliki *p-value* < 0,05 yang menandakan signifikansi secara statistik. Selanjutnya, uji kelayakan model dilakukan dengan melihat nilai R² = 0,9266 yang menunjukkan bahwa lebih dari 92% variasi kasus COVID-19 di Jawa Tengah tahun 2022 dapat dijelaskan oleh model. Nilai koefisien masing-masing variabel dianalisis untuk mengetahui arah dan besar pengaruhnya. Proses ini

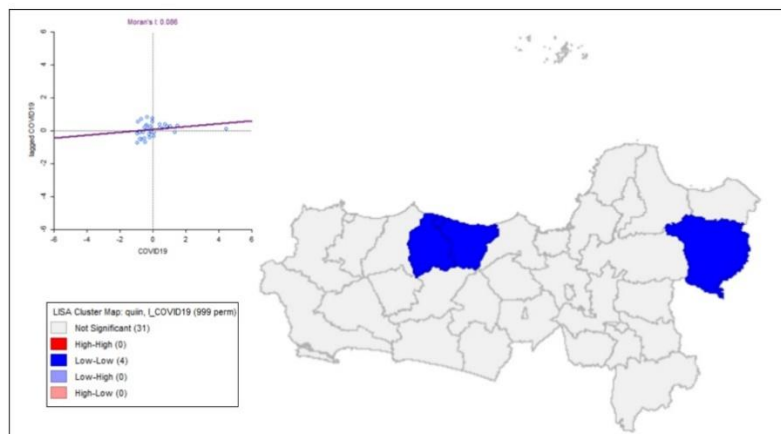
menghasilkan model regresi multivariat yang valid, signifikan, dan dapat digunakan untuk interpretasi serta pengambilan keputusan berbasis data. Uji multikolinieritas juga dilakukan guna menghindari adanya hubungan linear antar variabel independen. Pengujian ini dilakukan dengan menghitung nilai *Variance Inflation Factor* (VIF), dimana seluruh variabel dalam model memiliki VIF < 10. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terjadi masalah multikolinieritas yang serius antar variabel predictor.³³

Uji Asumsi Model Regresi

Penelitian ini menggunakan unit analisis bersifat kewilayahan atau spasial, Untuk memastikan validitas model, diperlukan pengujian autokorelasi spasial yang diawali dengan melakukan dengan pembobotan spasial menggunakan pendekatan *Queen Contiguity* dan dilakukan uji auto korelasi spasial menggunakan *Moran's I Scatter plot*, *LISA Map* (*Local Indicators of Spatial Association*).^{34,35}

Gambar 2 menunjukkan hasil analisis autokorelasi spasial kasus COVID-19 di Provinsi Jawa Tengah menggunakan *Moran's I* dan peta kluster LISA. Nilai *Moran's I* sebesar 0,086 menunjukkan hubungan spasial yang sangat lemah dan mendekati

nol, mengindikasikan tidak adanya autokorelasi spasial yang signifikan antarwilayah. Ini diperkuat oleh hasil peta LISA yang menunjukkan bahwa dari 35 wilayah, hanya 4 wilayah yang signifikan secara spasial (kategori *Low-low*), sedangkan 31 wilayah lainnya tidak signifikan. Tiga asumsi utama untuk pemodelan regresi juga diuji diantaranya normalitas residual dengan metode *Shapiro-Wilk*, serta uji heteroskedastisitas dengan *Breusch-Pagan Test* dan Autokorelasi *Moran's I Error* Untuk menegaskan kembali apakah diperlukan pemodelan spasial seperti *Spatial Lag Model (SAR)*, *Spatial Error Model (SEM)*, atau *Geographically Weighted Regression (GWR)*.^{29,30}



Gambar 2. *Moran's I Scatter plot* dan *LISA Map* (*Local Indicators of Spatial Association*) Kasus COVID-19 di Kabupaten dan Kota di Provinsi Jawa Tengah Tahun 2022

Tabel 3. Hasil Uji Asumsi Model Regresi

Uji Asumsi	p-value	Interpretasi
Normalitas (Shapiro-Wilk)	0.5398	Residual terdistribusi normal
Heteroskedastisitas (Breusch-Pagan)	0.5128	Tidak ada heteroskedastisitas
Autokorelasi (Moran's I Error)	0.44718	Autokorelasi Tidak Signifikan

Tabel hasil uji asumsi menunjukkan bahwa model regresi *Ordinary Least Squares (OLS)* yang digunakan dalam analisis spasial COVID-19 di Provinsi Jawa Tengah telah memenuhi seluruh persyaratan statistik utama. Pertama, hasil uji normalitas residual menggunakan metode *Shapiro-Wilk* menunjukkan *p-value* sebesar 0.5398, lebih besar dari 0.05. Ini mengindikasikan bahwa residual berdistribusi normal, yang merupakan salah satu asumsi dasar dalam regresi linier klasik.

Kedua, uji heteroskedastisitas dengan metode *Breusch-Pagan* menghasilkan *p-value* sebesar 0.5128, menunjukkan bahwa tidak terjadi variasi yang tidak konstan pada galat (*error variance*) antar observasi. Dengan demikian, asumsi homoskedastisitas terpenuhi, dan hasil estimasi parameter dapat dianggap efisien. Ketiga, hasil uji autokorelasi spasial residual menggunakan *Moran's I Error* menghasilkan *p-value* sebesar 0.44718, yang berarti tidak ada indikasi autokorelasi spasial yang signifikan antar wilayah. Ini

menegaskan bahwa penyebaran galat bersifat acak secara spasial.^{17,33,36}

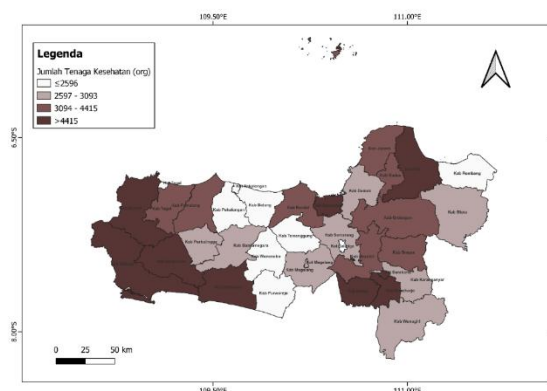
Secara keseluruhan, hasil ketiga uji ini mendukung bahwa model OLS yang digunakan dalam penelitian valid secara statistik, sehingga Berdasarkan hasil tersebut, persebaran kasus COVID-19 antar kabupaten/kota bersifat acak dan tidak membentuk pola spasial yang sistematis. Oleh karena itu, penggunaan model regresi spasial seperti SAR, SEM, atau GWR tidak diperlukan.^{29,30} Terpenuhinya keempat asumsi tersebut, model regresi linear yang dihasilkan dinyatakan layak digunakan untuk analisis inferensial maupun prediktif terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi kasus COVID-19 di Jawa Tengah.

Pemetaan Distribusi Ketersediaan Tenaga Kesehatan dan Analisa Kerentanan

Untuk mengidentifikasi distribusi spasial tingkat kerentanan wilayah terhadap kasus COVID-19, dilakukan klasifikasi risiko berdasarkan nilai kumulatif

dari sejumlah variabel signifikan yang diduga berkontribusi terhadap peningkatan kasus. Hasil klasifikasi ini divisualisasikan dalam bentuk peta kerentanan spasial, yang mengelompokkan kabupaten/kota di Provinsi Jawa Tengah ke dalam empat kategori: Rendah, Sedang, Tinggi, dan Sangat Tinggi. Peta kerentanan tersebut disusun berdasarkan hasil pemodelan akhir menggunakan pendekatan kuartil, dengan mengecualikan variabel jumlah tenaga kesehatan. Keputusan untuk tidak menyertakan variabel ini didasarkan pada pertimbangan bahwa tenaga kesehatan merupakan komponen esensial dalam sistem respons kesehatan masyarakat terhadap wabah, termasuk pandemi COVID-19. Tenaga kesehatan memiliki peran strategis dalam proses diagnosis, pelacakan kasus, pengobatan, edukasi masyarakat, hingga distribusi vaksin.

Meskipun demikian, distribusi spasial jumlah tenaga kesehatan tetap penting untuk dianalisis, karena mencerminkan kapasitas suatu wilayah dalam menghadapi beban penyakit. Oleh sebab itu, meskipun tidak dimasukkan dalam pemodelan kerentanan, peta yang menampilkan jumlah tenaga kesehatan per kabupaten/kota di Jawa Tengah tetap disajikan sebagai informasi pelengkap yang relevan dalam memahami kesiapan daerah terhadap pandemi.^{19,37-40}

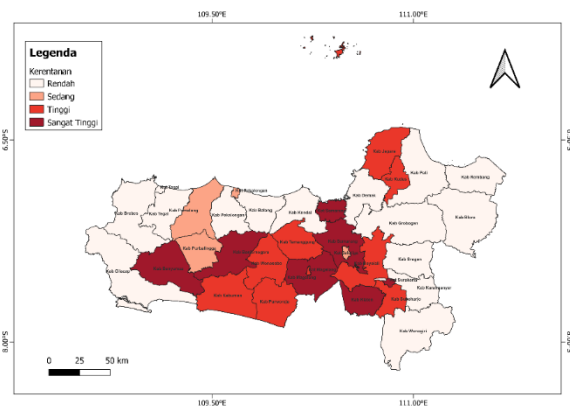


Gambar 3. Peta Distribusi Jumlah Tenaga Kesehatan di Provinsi Jawa Tengah Tahun 2022.

Peta distribusi tenaga kesehatan di Jawa Tengah menunjukkan bahwa wilayah dengan jumlah tenaga kesehatan terbanyak, yaitu lebih dari 4.415 orang, tersebar di kabupaten dan kota besar seperti Brebes, Cilacap, Jepara, Klaten, Kudus, Grobogan, serta Kota Semarang. Wilayah-wilayah ini umumnya memiliki jumlah penduduk yang tinggi sehingga kebutuhan terhadap tenaga kesehatan meningkat secara proporsional. Rata-rata jumlah tenaga kesehatan di tiap wilayah mencapai 3.870 orang, dengan nilai maksimum mencapai 15.797 orang. Kelompok wilayah dengan jumlah tenaga kesehatan menengah 3.094–4.415 orang, seperti Boyolali, Kendal, Pati, dan Banyumas, memiliki aktivitas ekonomi dan kependudukan sedang hingga tinggi, dan berperan sebagai zona penyangga terhadap wilayah sekitarnya.

Sementara itu, wilayah dengan jumlah tenaga kesehatan terendah ≤ 2.596 orang, seperti Kabupaten Batang, Purworejo, Wonosobo, dan Magelang, menghadapi risiko lebih tinggi terhadap tekanan sistem kesehatan, terutama saat terjadi lonjakan kasus. Ketimpangan ini disebabkan oleh rendahnya jumlah penduduk atau keterbatasan sumber daya kesehatan. Meski demikian, jumlah tenaga kesehatan tidak dapat dijadikan indikator langsung untuk menggambarkan beban kasus COVID-19. Wilayah dengan tenaga kesehatan lebih banyak biasanya memiliki sistem surveilans yang lebih baik, sehingga data kasus lebih lengkap. Sebaliknya, wilayah dengan sedikit tenaga kesehatan mungkin tampak memiliki kasus lebih rendah karena deteksi dan pelaporannya terbatas.^{18,39,41}

Paparan tersebut memperkuat pertimbangan tidak memasukkannya variabel jumlah tenaga kesehatan dalam pemodelan klasifikasi spasial untuk peta kerentanan. Keputusan ini diambil untuk menjaga objektivitas visualisasi dan menghindari interpretasi yang bias. Fokus utama diarahkan pada determinan struktural dan lingkungan yang lebih mewakili kondisi kerentanan sesungguhnya dalam menghadapi pandemi.



Gambar 4. Peta Kerentanan Faktor Sosial, Pelayanan Kesehatan, lingkungan terhadap Jumlah Kasus COVID-19 di Provinsi Jawa Tengah Tahun 2022

Peta kerentanan spasial COVID-19 di Provinsi Jawa Tengah memperlihatkan variasi tingkat kerentanan yang cukup tajam antarwilayah. Pemetaan ini didasarkan pada penjumlahan skor kuartil dari empat variabel signifikan. Jumlah penduduk, jumlah kunjungan wisatawan domestik, jumlah penduduk miskin, dan suhu rata-rata tahunan. Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa dari 35 kabupaten/kota di Jawa Tengah, terdapat 9 wilayah dengan tingkat kerentanan sangat tinggi, 10 wilayah kerentanan tinggi, 8 wilayah kerentanan sedang, dan 8 wilayah kerentanan rendah.

Wilayah dengan kerentanan sangat tinggi Kota Semarang, Kota Surakarta, Kota Magelang, Kabupaten Klaten, Purworejo, Wonosobo, Banjarnegara, Kebumen, dan Banyumas. Sebagai contoh, Kota Semarang memiliki jumlah penduduk lebih dari 1,6 juta jiwa, kunjungan wisatawan domestik mencapai 2,5 juta orang, dan suhu rata-rata sekitar 27,1°C, yang

tergolong sedang tetapi dikombinasikan dengan mobilitas dan penduduk tinggi. Sementara itu, Kabupaten Wonosobo dengan suhu lebih rendah 24,1°C dan kunjungan wisatawan lebih dari 1,2 juta orang per tahun juga masuk kategori sangat rentan karena faktor lingkungan dan pariwisata.

Wilayah dengan kerentanan rendah antara lain Kabupaten Blora, Grobogan, Rembang, Pati, Jepara, Brebes, Sragen, dan Pemalang. Daerah-daerah ini memiliki karakteristik suhu yang lebih tinggi sekitar 26,5-27,6°C, jumlah penduduk di bawah 900.000 jiwa, serta kunjungan wisatawan domestik relatif rendah kurang dari 500.000 orang per tahun. Misalnya, Kabupaten Rembang memiliki suhu rata-rata 27,4°C, jumlah penduduk sekitar 645.000 jiwa, dan wisatawan domestik sekitar 278.000 orang, sehingga secara akumulatif skornya masuk kategori rendah.

Secara umum, terdapat pola yang jelas bahwa wilayah dengan kepadatan penduduk tinggi dan aktivitas pariwisata yang besar lebih rentan terhadap penyebaran COVID-19. Selain itu, daerah dengan suhu lingkungan lebih rendah (umumnya daerah dataran tinggi) juga menunjukkan skor kerentanan lebih tinggi, seperti Kabupaten Wonosobo 24,1°C dan Banjarnegara 24,5°C, meskipun proporsi penduduk miskin tinggi dapat memperburuk kondisi kerentanan sosial, wilayah dengan kemiskinan tinggi namun aktivitas mobilitas rendah justru tercatat memiliki skor kerentanan lebih rendah. Interpretasi spasial ini memperkuat pentingnya pendekatan berbasis wilayah dalam kebijakan penanganan pandemi. Strategi intervensi di daerah berkerentanan sangat tinggi perlu diarahkan pada pengendalian mobilitas wisatawan, pembatasan aktivitas sosial masyarakat padat, serta penyediaan layanan kesehatan yang responsif terhadap kondisi lingkungan lokal.

Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi keterkaitan spasial antara determinan sosial, pelayanan kesehatan, dan faktor lingkungan terhadap jumlah kasus kumulatif COVID-19 di Provinsi Jawa Tengah pada Tahun 2022 sebagai puncak pandemi di Indonesia.^{3,4} Melalui pendekatan eksploratori ekologi dan pemodelan regresi multivariat *Ordinary Least Squares* (OLS), ditemukan bahwa lima variabel yaitu jumlah penduduk, jumlah penduduk miskin, jumlah wisatawan domestik, jumlah tenaga kesehatan, dan suhu rata-rata berkontribusi signifikan terhadap variasi spasial kasus COVID-19 antarwilayah. Model ini memiliki kekuatan prediktif yang tinggi, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai R^2 sebesar 0,9266 yang mengindikasikan bahwa lebih dari 92% variasi kasus dapat dijelaskan oleh kelima variabel tersebut.

Ada beberapa hal yang perlu dicermati meskipun pemodelan ini memiliki tingkat kekuatan prediktif yang tinggi bahwa tidak semua variabel dalam studi ini menunjukkan signifikansi secara statistik. Beberapa variabel seperti indeks pembangunan manusia (IPM), tingkat pendidikan,

akses sanitasi dan air minum layak, curah hujan, kelembapan, kecepatan angin, serta jumlah tenaga sanitasi lingkungan dieliminasi dari model melalui pendekatan *stepwise backward elimination*. Ketidakterlibatan ini dapat dijelaskan melalui kerangka *Social Determinants of Health*, yang menyatakan bahwa pengaruh faktor sosial dan lingkungan hanya akan nyata jika eksposur cukup tinggi dan sistem pelaporan memadai.^{5,15} Dalam konteks ini, contohnya variasi iklim di Jawa Tengah yang homogen misalnya kelembapan rata-rata 86,55% dengan SD = 2,51 mengurangi kekuatan prediktif variabel tersebut.^{9,14} Akses air bersih yang sudah tinggi mean 94,07% serta rendahnya jumlah tenaga sanitasi rata-rata 59 orang/wilayah, hal ini membatasi daya jelajah statistiknya. Temuan ini sekaligus menguatkan pentingnya jumlah penduduk, mobilitas, dan suhu sebagai determinan utama penyebaran COVID-19, hal tersebut juga menegaskan bahwa pendekatan kontekstual dan spasial diperlukan dalam memahami dinamika penyakit menular.

Secara teoritis, hasil penelitian ini memperkuat kerangka *Social Determinants of Health* (SDOH) yang dikembangkan oleh WHO, yang menekankan bahwa faktor sosial dan struktural seperti kepadatan penduduk, kemiskinan, dan akses terhadap pelayanan kesehatan merupakan penentu utama kesehatan populasi.⁵ Korelasi positif antara jumlah penduduk dan jumlah kasus COVID-19 sejalan dengan hasil studi sebelumnya yang menunjukkan bahwa wilayah dengan kepadatan tinggi memiliki risiko penyebaran virus yang lebih besar.^{10,42} Variabel wisatawan domestik memiliki kontribusi signifikan, menunjukkan bahwa mobilitas masyarakat menjadi faktor penting dalam epidemiologi penyakit menular.^{16,43}

Suhu rata-rata menunjukkan korelasi negatif yang kuat terhadap kasus COVID-19, di mana wilayah dengan suhu lebih rendah, seperti dataran tinggi Wonosobo 24,1°C, memiliki tingkat kerentanan yang lebih tinggi. Temuan ini memperkuat hasil dari penelitian terdahulu, yang menemukan bahwa suhu rendah mendukung stabilitas virus dan meningkatkan transmisi.^{8,9,14} Disisi lain, jumlah tenaga kesehatan yang secara statistik signifikan dalam model justru tidak digunakan dalam pemetaan kerentanan, karena wilayah dengan banyak tenaga kesehatan cenderung memiliki sistem pelaporan yang lebih baik, sehingga bukan mencerminkan tingginya insidensi sesungguhnya, melainkan kualitas deteksi kasus.^{18,19}

Dalam konteks kontribusi ilmiah, penelitian ini memperkaya literatur dengan mengintegrasikan pendekatan spasial berbasis wilayah administrasi lengkap (kabupaten/kota), yang sebelumnya jarang dilakukan di Indonesia. Pemetaan kuartil risiko yang dihasilkan dari model OLS diharapkan dapat memberikan alat visual yang kuat untuk mengidentifikasi wilayah dengan tingkat kerentanan tinggi. Pemisahan antara peta kerentanan dan peta kapasitas sistem jumlah tenaga kesehatan menunjukkan pendekatan metodologis yang sensitif.

Selain itu, penggunaan data spasial dan lingkungan dari platform terpercaya seperti Power DAV NASA dan Badan Pusat Statistik dan Dinas Kesehatan Provinsi Jawa Tengah.

Dari sisi praktis, temuan ini memberikan dasar bagi pengambil kebijakan untuk mengembangkan strategi respons berbasis wilayah (*place-based policy*). Wilayah-wilayah dengan skor kerentanan sangat tinggi seperti Kota dan Kabupaten Semarang, Kota Surakarta, Kabupaten Magelang, Kabupaten Klaten, Kabupaten Banyumas dan Kabupaten Banjarnegara perlu menjadi prioritas dalam penguatan sistem kesehatan, pengendalian mobilitas sosial, dan peningkatan kapasitas surveilans. Jumlah wisatawan yang tinggi di wilayah tersebut menunjukkan perlunya sistem pengendalian arus wisata berbasis zonasi risiko, seperti sistem *green-red zones* yang diimplementasikan di beberapa negara.⁴⁴

Rekomendasi kebijakan berikutnya adalah perlunya penguatan sistem pelaporan dan pengujian COVID-19 di wilayah dengan tingkat kemiskinan tinggi. Korelasi negatif antara jumlah penduduk miskin dan jumlah kasus tercatat tidak mencerminkan rendahnya risiko, melainkan kemungkinan besar akibat keterbatasan kapasitas deteksi (*underreporting*).¹¹ Menjadikan program pemeriksaan massal gratis, pelatihan petugas lapangan, dan peningkatan edukasi masyarakat adalah langkah strategis yang sangat dibutuhkan di wilayah-wilayah marginal. Selain itu, data suhu rata-rata yang signifikan terhadap penyebaran penyakit menunjukkan urgensi untuk mengembangkan sistem pemantauan epidemiologis berbasis iklim. Pemerintah daerah dapat bekerja sama dengan BMKG dan institusi akademik untuk mengembangkan sistem peringatan dini berbasis cuaca dan topografi. Seperti disarankan dalam studi¹², wilayah dengan suhu lingkungan rendah dan kelembapan tinggi cenderung lebih berisiko terhadap penyebaran infeksi saluran pernapasan.

Namun demikian, terdapat ketidaksesuaian yang menarik dalam hasil penelitian ini. Jumlah penduduk miskin yang secara statistik berkorelasi negatif terhadap jumlah kasus bertentangan dengan asumsi awal dan hasil studi lain seperti yang menunjukkan bahwa populasi miskin biasanya memiliki risiko lebih tinggi terhadap infeksi. Fenomena ini kemungkinan besar disebabkan oleh keterbatasan dalam deteksi kasus dan pelaporan, serta ketimpangan sistem kesehatan antardaerah. Selain itu, pendekatan studi ekologi yang digunakan dalam penelitian ini memiliki keterbatasan inheren, seperti potensi *ecological fallacy* dan ketidakmampuan untuk mengontrol variasi dalam unit agregat⁷. Ukuran sampel yang terbatas pada 35 wilayah administratif juga menjadi kendala dalam generalisasi hasil. Meskipun representatif untuk skala provinsi, jumlah ini mungkin tidak cukup untuk menangkap keragaman faktor yang lebih luas di tingkat nasional. Selain itu, karena data yang digunakan berasal dari tahun 2022, dinamika

temporal seperti mutasi varian virus atau cakupan vaksinasi tidak terakomodasi secara menyeluruh.

Keunggulan metodologis tetap menjadi kekuatan utama studi ini. Seluruh asumsi statistik dalam model diuji dan dipenuhi, termasuk uji normalitas residual $p\text{-value} = 0,5398$, heteroskedastisitas $p\text{-value} = 0,5128$, dan autokorelasi spasial $p\text{-value} = 0,44718$. Dengan tidak ditemukannya autokorelasi spasial signifikan, model OLS dinyatakan valid secara statistik tanpa memerlukan pendekatan regresi spasial lanjut seperti *Spatial Lag Model*, *Spatial Error Model* atau *Geographically Weighted Regression*.²⁹

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas, terdapat beberapa rekomendasi utama yang dapat dikemukakan. Pertama, pengembangan kebijakan kesehatan perlu berbasis spasial dan bersifat adaptif terhadap karakteristik wilayah. Kedua, program intervensi di daerah miskin harus diiringi dengan peningkatan kapasitas pelaporan kasus dan penyediaan infrastruktur dasar kesehatan. Ketiga, pemanfaatan data iklim dan suhu dalam sistem peringatan dini perlu dikembangkan sebagai bagian dari upaya antisipasi lonjakan kasus di musim tertentu. Keempat, penelitian lanjutan perlu mengadopsi pendekatan longitudinal, multilevel, serta mengintegrasikan variabel perilaku dan cakupan vaksinasi guna memperoleh gambaran yang lebih utuh terhadap faktor-faktor yang memengaruhi penyebaran COVID-19 secara spasial. Hasil penelitian ini memberikan kontribusi konseptual, metodologis, dan praktis yang penting dalam pengembangan epidemiologi spasial dan perencanaan kesehatan wilayah. Pendekatan berbasis data yang dikembangkan dalam studi ini dapat menjadi acuan bagi wilayah lain dalam menyusun strategi respons pandemi dan mitigasi risiko penyakit menular berbasis wilayah yang adil dan efektif.

SIMPULAN

Pemodelan OLS Menunjukkan Faktor sosial (jumlah penduduk, jumlah penduduk miskin, wisatawan domestik), Faktor Pelayanan Kesehatan (jumlah tenaga kesehatan), dan Lingkungan (suhu rata-rata) merupakan determinan signifikan dengan kasus COVID-19 di Provinsi Jawa Tengah. Disarankan agar pemerintah daerah mengimplementasikan kebijakan berbasis spasial dengan fokus pada 6 wilayah berkerentanan sangat tinggi seperti Kota dan Kabupaten Semarang, Kota Surakarta, Kabupaten Magelang, Kabupaten Klaten, Kabupaten Banyumas dan Kabupaten Banjarnegara. Langkah konkret yang dapat dilakukan meliputi peningkatan kapasitas deteksi dan pelaporan kasus di daerah miskin melalui program tes massal dan pelatihan kader kesehatan komunitas, pengendalian mobilitas wisatawan melalui sistem zonasi risiko dan regulasi aktivitas wisata berbasis data spasial dan integrasi data iklim ke dalam sistem peringatan dini kesehatan masyarakat, khususnya di daerah bersuhu rendah. Pengembangan sistem dashboard geospasial kesehatan berbasis real-time

direkomendasikan untuk meningkatkan ketepatan pengambilan keputusan dalam penanganan pandemi dan penyakit menular lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. World Health Organization. Coronavirus Disease (COVID-19) Pandemic. World Health Organization. 2020. Accessed January 21, 2025. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>
2. Chu DT, Vu Ngoc SM, Vu Thi H, et al. COVID-19 in Southeast Asia: current status and perspectives. *Bioengineered*. 2022;13(2):3797-3809. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2031417>
3. Dicky Kurniawan, Mega Putri Mahadewi. Lonjakan Kasus Covid-19 di Asia. Apa Antisipasi Pemerintah? TEMPO. June 11, 2025. Accessed June 22, 2025. <https://www.tempo.co/politik/-lonjakan-kasus-covid-19-di-asia-apa-antisipasi-pemerintah--1674263>
4. Dinas Kesehatan Provinsi Jawa Tengah. *Profil Kesehatan Jawa Tengah Tahun 2022* ; 2023. Accessed June 22, 2025. https://dinkesjatengprov.go.id/v2018/dokumen/Buku_Profil_Kesehatan_2022/mobile/
5. World Health Organization. Social Determinants of Health. World Health Organization. 2024. Accessed June 22, 2025. https://www.who.int/health-topics/social-determinants-of-health#tab=tab_1
6. Rendana M, Idris WMR, Abdul Rahim S. Spatial distribution of COVID-19 cases, epidemic spread rate, spatial pattern, and its correlation with meteorological factors during the first to the second waves. *J Infect Public Health*. 2021;14(10):1340-1348. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2021.07.010>
7. Björk J, Modig K, Kahn F, Ahlbom A. Revival of ecological studies during the COVID-19 pandemic. *Eur J Epidemiol*. 2021;36(12):1225-1229. <https://doi.org/10.1007/s10654-021-00830-9>
8. McClymont H, Hu W. Weather Variability and COVID-19 Transmission: A Review of Recent Research. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(2):396. <https://doi.org/10.3390/ijerph18020396>
9. Bashir MF, Ma B, Bilal, et al. Correlation between climate indicators and COVID-19 pandemic in New York, USA. *Science of The Total Environment*. 2020;728:138835. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138835>
10. Ganasegeran K, Jamil MFA, Ch'ng ASH, Looi I, Peariasamy KM. Influence of Population Density for COVID-19 Spread in Malaysia: An Ecological Study. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(18):9866. <https://doi.org/10.3390/ijerph18189866>
11. Martins AS, Salles MJ, Carvajal E, et al. Privatizing sanitation concessions and the incidence of COVID-19 in slums in Rio de Janeiro. *Saúde em Debate*. 2021;45(spe2):82-91. <https://doi.org/10.1590/0103-11042021e206j>
12. Bhattacharjee A, Mitra S, Choudhary V, Das S, Patel PP. COVID-19, “risks” and critical reflections on WASH services in Kolkata’s slums. *Regional Science Policy & Practice*. 2024;16(7):100051. <https://doi.org/10.1016/j.rspp.2024.100051>
13. Shermin N, Rahaman SN. Assessment of sanitation service gap in urban slums for tackling COVID-19. *Journal of Urban Management*. 2021;10(3):230-241. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2021.06.003>
14. Moroh JE, Innocent DC, Chukwuocha UM, et al. Seasonal Variation and Geographical Distribution of COVID-19 across Nigeria (March 2020–July 2021). *Vaccines (Basel)*. 2023;11(2):298. <https://doi.org/10.3390/vaccines11020298>
15. Carhuapoma-Yance M, Apolaya-Segura M, Valladares-Garrido MJ, Failoc-Rojas VE, Díaz-Vélez C. Índice desarrollo humano y la tasa de letalidad por Covid-19: Estudio ecológico en América. *Revista del Cuerpo Médico Hospital Nacional Almanzor Aguinaga Asenjo*. 2021;14(3):362-366. <https://doi.org/10.35434/rcmhnaaa.2021.143.1258>
16. Chuengsamarn P, Boongird S, Dandecha P, et al. Fatality rate, risk factors, and functional decline in peritoneal dialysis patients with coronavirus disease 2019: A nationwide cohort study. *Front Med (Lausanne)*. 2022;9. <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.1051448>
17. Shi R, Conrad SA. Correlation and regression analysis. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*. 2009;103(4):S35-S41. [https://doi.org/10.1016/S1081-1206\(10\)60820-4](https://doi.org/10.1016/S1081-1206(10)60820-4)
18. Garcia-Morata M, Gonzalez-Rubio J, Segura T, Najera A. Spatial analysis of COVID-19 hospitalised cases in an entire city: The risk of studying only lattice data. *Science of The Total Environment*. 2022;806:150521. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150521>
19. Cuadros DF, Branscum AJ, Mukandavire Z, Miller FD, MacKinnon N. Dynamics of the COVID-19 epidemic in urban and rural areas in the United States. *Ann Epidemiol*. 2021;59:16-20. <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2021.04.007>
20. Krueger T, Besenecker UC. Design-Based Research in Relation to Science-Based Research. In: *Design Research Foundations*. Springer,

- Cham; 2019:137-151.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-18557-2_7
21. National Aeronautics and Space Administration. NASA Power DAV. National Aeronautics and Space Administration. 2025. Accessed July 21, 2025. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
 22. Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah. Beranda Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah. Badan Pusat Statistik Jawa Tengah. 2023. Accessed June 22, 2023. <https://jateng.bps.go.id/id>
 23. Sokan-Adeaga AA, Sokan-Adeaga AM, Sokan-Adeaga ED. The Environment and COVID-19 Transmission: A Perspective. *Journal of Health & Biological Sciences*. 2020;8(1):1-6. <https://doi.org/10.12662/2317-3076jhbs.v8i1.3361.p1-6.2020>
 24. Hyde K. Residential Water Quality and the Spread of COVID-19 in the United States. *SSRN Electronic Journal*. Published online April 9, 2020. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3572341>
 25. Zakianis, Adzania FH, Fauzia S, Aryati GP, Mahkota R. Sociodemographic and environmental health risk factor of COVID-19 in Jakarta, Indonesia: An ecological study. *One Health*. 2021;13:100303. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2021.100303>
 26. Zeng DD, Yan P, Li S. Spatial Regression-Based Environmental Analysis in Infectious Disease Informatics. In: *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. Vol 5354 LNBI. Springer, Berlin, Heidelberg; 2008:175-181. https://doi.org/10.1007/978-3-540-89746-0_18
 27. Aboalyem MS, Ismail MT. Mapping the Pandemic: A Review of GIS-based Spatial Modeling of COVID-19. Published online July 5, 2023. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3094871/v1>
 28. Mishra C, Mohanty L, Rath S, Patnaik R, Pradhan R. Application of Backward Elimination in Multiple Linear Regression Model for Prediction of Stock Index. In: *Smart Innovation, Systems and Technologies*. Vol 153. Springer, Singapore; 2021:543-551. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6202-0_56
 29. Gupta A, Qu X. Consistent Specification Testing Under Spatial Dependence. *Econ Theory*. 2024;40(2):278-319. <https://doi.org/10.1017/S0266466622000445>
 30. Darmofal D. Spatial Lag and Spatial Error Models. In: *Spatial Analysis for the Social Sciences*. Cambridge University Press; 2015:96-118. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139051293.007>
 31. Wang Y, Viseu Cardoso R, Forgaci C. Urban Pandemic Vulnerability and COVID-19: A New Framework to Assess the Impacts of Global Pandemics in the Metropolitan Region of Amsterdam. *Sustainability*. 2022;14(7):4284. <https://doi.org/10.3390/su14074284>
 32. Pasricha N. Research ethics and integrity. *Journal of Dental Specialities*. 2023;11(2):69-70. <https://doi.org/10.18231/j.jds.2023.013>
 33. Li, PhD H. Linear Regression. In: *Numerical Methods Using Java*. Apress; 2022:915-978. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6797-4_14
 34. Jesri N, Saghaipour A, Koopaei A, et al. Mapping and Spatial Pattern Analysis of COVID -19 in Central Iran Using the Local Indicators of Spatial Association (LISA). Published online July 22, 2021. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-732635/v1>
 35. Yang M, Ma J, Jia P, Pu Y, Chen G. The use of spatial autocorrelation to analyze changes in spatial distribution patterns of population density in Jiangsu province, China. In: *2011 19th International Conference on Geoinformatics*. IEEE; 2011:1-6. <https://doi.org/10.1109/GeoInformatics.2011.5980909>
 36. Wheeler DC, Páez A. Geographically Weighted Regression. In: *Handbook of Applied Spatial Analysis*. Springer Berlin Heidelberg; 2010:461-486. https://doi.org/10.1007/978-3-642-03647-7_22
 37. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Penambahan Tenaga Kesehatan untuk Perkuat Penanganan COVID-19. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. August 2020. Accessed April 8, 2025. <https://www.kemkes.go.id/article/view/20083100002/penambahan-tenaga-kesehatan-untuk-perkuat-penanganan-covid-19.html>
 38. Henley P. COVID-19 and One Health: shifting the paradigm in how we think about health. *JBI Evid Synth*. 2020;18(6):1154-1155. <https://doi.org/10.1112/JBIES-20-00161>
 39. Khan JR, Awan N, Islam MdM, Muurlink O. Healthcare Capacity, Health Expenditure, and Civil Society as Predictors of COVID-19 Case Fatalities: A Global Analysis. *Front Public Health*. 2020;8. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00347>
 40. Heath C, Sommerfield A, von Ungern-Sternberg BS. Resilience strategies to manage psychological distress among healthcare workers during the COVID-19 pandemic: a narrative review. *Anaesthesia*. 2020;75(10):1364-1371. <https://doi.org/10.1111/anae.15180>
 41. Kurniawati UF, Nurlaela S, Susetyo C, Firmansyah F. Spatial analysis of health facility service coverage in handling of COVID-19

- patients in the area Surabaya City Settlement. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 2022;1015(1):012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1015/1/012019>
42. Kanble Tanushri, Bahadure S. Correlating Urban Population Density and Sustainability Using the Corona Index Method. *Journal of Settlements and Spatial Planning.* 2021;12(1):25-33. <https://doi.org/10.24193/JSSP.2021.1.03>
43. Mirahmadizadeh A, Ghelichi-Ghojogh M, Vali M, et al. Correlation between human development index and its components with COVID-19 indices: a global level ecologic study. *BMC Public Health.* 2022;22(1):1549. <https://doi.org/10.1186/s12889-022-13698-5>
44. Sharif N, Sarkar MK, Ahmed SN, et al. Environmental correlation and epidemiologic analysis of COVID-19 pandemic in ten regions in five continents. *Heliyon.* 2021;7(3):e06576. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06576>



©2025. This open-access article is distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.