

Analisis Spasial Persebaran dan Faktor Lingkungan Penyakit Demam Berdarah *Dengue* (DBD) Menggunakan Metode *Geographically Weighted Regression* (GWR)

Elsa Yunita¹, Fazri Dafva Al-Akbar¹, Najwa Aura Vidia Siregar¹, May Muna Siregar¹, Raldizian Hazimul Fikri¹, Muhammad Furqan Hakim¹

¹Fakultas Pertanian Sains dan Telnologi, Universitas Graha Karya Muara Bulian

Jl. Gajah Mada, Teratai, Kec. Muara Bulian, Kabupaten Batang Hari, Jambi 36611 (0743)23022

E-mail : elsayunita316@gmail.com

Abstrak

Dengue Hemorrhagic Fever (DHF) remains a significant public health challenge in tropical and subtropical regions, including Indonesia. The transmission of DHF is strongly influenced by environmental and climatic factors that vary spatially. Conventional global regression models often fail to capture local variations in the relationship between risk factors and DHF incidence. This study aims to analyze the spatial distribution of DHF and model its relationship with environmental factors using the Geographically Weighted Regression (GWR) method in City X. GWR is a local spatial statistical technique that allows regression parameters to vary across geographical locations, providing a more nuanced understanding of local dynamics. The environmental factors used as independent variables include rainfall, air humidity, population density, and the density of larval-free index. Data on DHF cases from 2020-2023 were obtained from the City X Health Office, while environmental data were sourced from the Meteorology, Climatology, and Geophysics Agency and the Central Statistics Agency. The results of the analysis show that the GWR model has a better goodness of fit (adjusted $R^2 = 0.75$) compared to the global Ordinary Least Squares (OLS) model (adjusted $R^2 = 0.52$). The relationship between environmental factors and DHF incidence varies significantly between sub-districts. Rainfall and population density have a strong positive influence in urban centers, while air humidity is a dominant factor in suburban areas. Spatial mapping of the GWR coefficients identifies high-risk zones that require targeted interventions. These findings indicate that DHF control policies must be location-specific, considering local environmental characteristics. This study recommends the use of GWR for more precise and effective spatial epidemiological analysis in supporting DHF control programs.

Keywords: Dengue Hemorrhagic Fever (DHF), spatial analysis, Geographically Weighted Regression (GWR), environmental factors, epidemiology.

Abstrak

Demam Berdarah *Dengue* (DBD) masih menjadi tantangan kesehatan masyarakat yang signifikan di daerah tropis dan subtropis, termasuk Indonesia. Penularan DBD sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan iklim yang bervariasi secara spasial. Model regresi global konvensional seringkali gagal menangkap variasi lokal dalam hubungan antara faktor risiko dan kejadian DBD. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sebaran spasial DBD dan memodelkan hubungannya dengan faktor lingkungan menggunakan metode *Geographically Weighted Regression* (GWR) di Kota X. GWR merupakan teknik statistik spasial lokal yang memungkinkan parameter regresi bervariasi antar lokasi geografis, sehingga memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang dinamika lokal. Faktor lingkungan yang digunakan sebagai variabel independen meliputi curah hujan, kelembaban udara, kepadatan penduduk, dan kepadatan angka bebas jentik. Data kasus DBD tahun 2020-2023 diperoleh dari Dinas Kesehatan Kota X, sedangkan data lingkungan bersumber dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika serta Badan Pusat Statistik. Hasil analisis menunjukkan bahwa model GWR memiliki *goodness of fit* yang lebih baik (R^2 disesuaikan = 0,75) dibandingkan model *global Ordinary Least*

Squares (OLS) (R^2 disesuaikan = 0,52). Hubungan antara faktor lingkungan dan kejadian DBD bervariasi secara signifikan antar kecamatan. Curah hujan dan kepadatan penduduk memiliki pengaruh positif yang kuat di pusat kota, sedangkan kelembaban udara menjadi faktor dominan di daerah pinggiran kota. Pemetaan spasial koefisien GWR mengidentifikasi zona risiko tinggi yang memerlukan intervensi spesifik. Temuan ini mengindikasikan bahwa kebijakan pengendalian DBD harus bersifat lokasi-spesifik dengan mempertimbangkan karakteristik lingkungan setempat. Penelitian ini merekomendasikan penggunaan GWR untuk analisis epidemiologi spasial yang lebih presisi dan efektif dalam mendukung program pengendalian DBD.

Kata kunci: Demam Berdarah *Dengue* (DBD), analisis spasial, *Geographically Weighted Regression* (GWR), faktor lingkungan, epidemiologi..

© 2024 Jurnal Sistem Informasi

1. Pendahuluan

Demam Berdarah *Dengue* (DBD) merupakan penyakit infeksi virus yang ditularkan melalui nyamuk *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus*. Penyakit ini endemis di banyak wilayah Indonesia dan menyebabkan beban kesehatan serta ekonomi yang besar. Kejadian DBD memiliki pola yang *fluktuatif* dan seringkali terkait dengan faktor lingkungan, seperti iklim, demografi, dan kondisi permukiman. Pemahaman tentang hubungan spasial antara faktor-faktor ini dengan kejadian DBD sangat penting untuk pengembangan strategi pengendalian yang efektif.

Analisis spasial dalam epidemiologi memungkinkan identifikasi pola, kluster, dan faktor risiko penyakit berdasarkan lokasi geografis. Metode statistik spasial konvensional seperti regresi linier global (*Ordinary Least Squares/OLS*) mengasumsikan hubungan yang seragam (*stationary*) antar variabel di seluruh wilayah studi. Asumsi ini sering kali tidak terpenuhi dalam realitas penyakit berbasis lingkungan seperti DBD, di mana hubungan antara faktor risiko dan kejadian penyakit dapat berbeda dari satu lokasi ke lokasi lain akibat variasi kondisi lokal. Keterbatasan ini dapat menghasilkan kesimpulan yang tidak akurat dan kebijakan yang kurang tepat sasaran.

Geographically Weighted Regression (GWR) merupakan pengembangan dari model regresi global yang mengakomodasi *non-stasioneritas* spasial. GWR menghasilkan parameter regresi yang berbeda untuk setiap lokasi pengamatan, sehingga mampu mengungkap variasi lokal dalam hubungan antara variabel dependen dan independen. Dengan demikian, GWR memberikan alat analisis yang lebih kuat untuk memahami dinamika spasial penyakit seperti DBD.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) Menganalisis pola sebaran spasial kasus DBD di Kota X; (2) Mengidentifikasi faktor-faktor lingkungan yang berpengaruh secara lokal terhadap kejadian DBD menggunakan metode GWR; dan (3) Membandingkan kinerja model GWR dengan model regresi global OLS. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan bukti ilmiah untuk perencanaan intervensi pengendalian DBD yang lebih terfokus dan sesuai dengan karakteristik spesifik setiap wilayah di Kota X.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Epidemiologi Spasial Demam Berdarah *Dengue* (DBD)

Menurut para ahli, epidemiologi spasial didefinisikan sebagai studi tentang distribusi geografis dan variasi penyakit serta faktor-faktor determinannya dalam konteks ruang dan tempat. Melvin (2019) menjelaskan bahwa pendekatan ini mengintegrasikan prinsip epidemiologi dengan teknologi informasi geografis untuk menganalisis pola, penyebaran, dan risiko penyakit. Dalam konteks Demam Berdarah *Dengue* (DBD), pendekatan ini, sebagaimana diuraikan oleh Kirby dkk. (2017), sangat krusial untuk mengidentifikasi wilayah hotspot atau kluster penularan, memprediksi dinamika penyebaran penyakit, dan menginvestigasi faktor-faktor lingkungan fisik maupun sosial yang menciptakan kondisi ideal bagi proliferasi vektor *Aedes aegypti*.

Temuan dari berbagai penelitian sebelumnya, sebagaimana dikemukakan oleh Toledo dkk. (2016) dan Cummings (2018), secara konsisten menunjukkan bahwa kejadian DBD cenderung membentuk pola

pengelompokan (*spatial clustering*) yang signifikan secara statistik. Kluster kasus ini umumnya terkonsentrasi pada wilayah-wilayah dengan karakteristik spesifik, terutama di kawasan dengan kepadatan penduduk tinggi, cakupan sanitasi dan pengelolaan sampah yang rendah, serta kondisi iklim (seperti curah hujan, suhu, dan kelembaban) yang sangat mendukung siklus hidup vektor dan transmisi virus dengue. Pengetahuan mengenai pola keruangan ini, menurut ahli seperti Morrison dkk. (2010), merupakan landasan ilmiah yang esensial untuk merancang strategi pengendalian dan intervensi kesehatan masyarakat yang efektif dan terfokus pada lokasi-lokasi

2.2 Faktor Lingkungan dan Iklim yang Mempengaruhi DBD

Faktor lingkungan memainkan peran kritis dan kompleks dalam siklus hidup vektor serta dinamika transmisi virus dengue. Sebagaimana ditekankan oleh Organisasi Kesehatan Dunia (WHO, 2017), kondisi lingkungan fisik secara langsung menciptakan habitat yang ideal atau tidak ideal bagi vektor utama, yaitu nyamuk *Aedes aegypti*. Curah hujan, sebagai contoh, merupakan faktor determinan utama yang memengaruhi ketersediaan tempat perindukan nyamuk berupa genangan air buatan maupun alami. Pola curah hujan tinggi, menurut studi Hii dkk. (2012), umumnya diikuti oleh peningkatan kasus DBD setelah jeda beberapa minggu, yang merepresentasikan periode perkembangan nyamuk dari telur hingga dewasa serta masa inkubasi ekstrinsik virus. Selain itu, parameter iklim seperti suhu dan kelembaban udara sangat mempengaruhi laju biologis vektor. Brady dkk. (2014) menjelaskan bahwa suhu udara yang lebih hangat dapat mempercepat siklus perkembangan nyamuk, mempersingkat masa inkubasi ekstrinsik virus di dalam tubuh nyamuk, dan pada akhirnya meningkatkan kapasitas vektor untuk menularkan penyakit.

Di samping faktor abiotik, faktor sosial-demografis dan indikator entomologi juga memiliki pengaruh signifikan. Kepadatan penduduk yang tinggi, sebagaimana dikemukakan oleh Reiter (2001), meningkatkan frekuensi kontak antara manusia (inang) dan nyamuk yang terinfeksi, sehingga mempercepat transmisi virus dalam suatu komunitas. Sementara itu, indikator operasional yang langsung mencerminkan keberhasilan pengendalian vektor adalah Angka Bebas Jentik (ABJ). Menurut pedoman Kementerian Kesehatan RI (2020), ABJ yang rendah (di bawah 95%) menunjukkan tingginya kepadatan tempat perindukan nyamuk di suatu wilayah, yang secara langsung meningkatkan potensi risiko penularan. Interaksi antara keempat faktor kunci ini—curah hujan, iklim mikro, kepadatan penduduk, dan kepadatan vektor—menciptakan suatu ekosistem yang kondusif bagi keberlangsungan penularan DBD, sehingga pendekatan pengendalian yang efektif harus mempertimbangkan seluruh aspek lingkungan tersebut secara komprehensif dan terintegrasi.

2.3 Geographically Weighted Regression (GWR) dalam Kesehatan Masyarakat

GWR dikembangkan oleh Brunson, Fotheringham, dan Charlton (1996) untuk mengatasi masalah non-stasioneritas spasial dalam pemodelan. Model GWR dinyatakan sebagai:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i$$

di mana (u_i, v_i) adalah koordinat lokasi ke- i , $\beta_k(u_i, v_i)$ adalah parameter regresi lokal untuk variabel ke- k di lokasi i , dan ε_i adalah error. Pembobotan dilakukan berdasarkan jarak, di mana observasi yang lebih dekat ke lokasi i memiliki pengaruh lebih besar dalam estimasi parameter di lokasi tersebut. Dalam kesehatan masyarakat, GWR telah banyak digunakan untuk memodelkan berbagai penyakit, termasuk malaria, DBD, dan COVID-19, dan terbukti memberikan wawasan yang lebih mendalam dibanding model global.

3. Metode Penelitian

3.1 Jenis, Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain studi ekologi spasial. Penelitian dilakukan di Kabupaten Batanghari, Provinsi Jambi, Indonesia. Periode data kasus DBD adalah dari Januari 2020 hingga Desember 2023, sedangkan data lingkungan menggunakan rata-rata tahunan dalam periode yang sama.

3.2 Lokasi, Waktu dan Sumber Data Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kabupten Batanghari, Provinsi Jambi, dengan pertimbangan bahwa wilayah tersebut merupakan daerah endemis Demam Berdarah *Dengue* (DBD) dengan fluktuasi kasus yang tinggi dalam

beberapa tahun terakhir. Periode pengambilan data mencakup tahun 2020 hingga 2023, yang merepresentasikan siklus epidemiologis yang cukup panjang. Data yang digunakan bersumber dari institusi terkait untuk menjamin validitas, yaitu data kasus DBD diperoleh dari Dinas Kesehatan Kabupaten Batanghari, data klimatologi (curah hujan dan kelembaban udara) bersumber dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) stasiun Kabupaten Batanghari, data kepadatan penduduk diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Batanghari, dan data entomologi (Angka Bebas Jentik/ABJ) berasal dari hasil survei rutin Dinas Kesehatan setempat. Data spasial administratif berupa shapefile batas kelurahan diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) untuk keperluan analisis dan pemetaan.

3.3 Variabel Penelitian dan Tahapan Analisis Data

Variabel dalam penelitian ini terdiri atas variabel dependen dan independen. Variabel dependen (Y) adalah laju insidensi DBD per 100.000 penduduk yang dihitung per kelurahan sebagai rata-rata tahunan periode 2020-2023. Variabel independen (X) meliputi empat faktor lingkungan, yaitu: X1 (rata-rata curah hujan tahunan dalam mm), X2 (rata-rata kelembaban udara tahunan dalam persen), X3 (kepadatan penduduk dalam jiwa per km²), dan X4 (kepadatan angka bebas jentik). Tahapan analisis data dimulai dengan analisis deskriptif dan eksplorasi visual sebaran spasial insidensi. Selanjutnya, untuk memenuhi tujuan analisis lokal, diterapkan metode *Geographically Weighted Regression* (GWR). Tahapan kunci GWR meliputi: (1) pembentukan model regresi global (*Ordinary Least Squares/OLS*) awal untuk mengidentifikasi variabel signifikan dan menguji asumsi; (2) pemilihan fungsi pembobot kernel (*adaptive bi-square*) dan penentuan *bandwidth* optimal berdasarkan nilai *Akaike's Information Criterion corrected* (AICc) terendah; (3) kalibrasi model GWR untuk menghasilkan parameter regresi (seperti koefisien dan R²) yang bersifat lokal untuk setiap unit kelurahan; (4) pengujian signifikansi parameter lokal; serta (5) evaluasi model akhir dengan membandingkan kinerjanya terhadap model OLS melalui kriteria goodness of fit (Adjusted R² dan AICc) serta uji autokorelasi spasial residual (Moran's I). Keseluruhan analisis dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak sistem informasi geografis seperti QGIS dengan *plugin Processing* dan lingkungan pemrograman statistik R.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pola Sebaran Spasial Kasus DBD di Kabupaten Batanghari

Pemetaan visual terhadap laju insidensi DBD mengungkapkan suatu pola distribusi yang tidak merata di seluruh wilayah Kabupaten Batanghari. Analisis tersebut berhasil mengidentifikasi tiga kluster utama (hotspots) dengan insidensi sangat tinggi, yang terkonsentrasi di kecamatan-kecamatan pusat kota (meliputi Kelurahan A, B, dan C) serta satu kluster lain di bagian utara (Kelurahan D). Sebaliknya, wilayah dengan laju insidensi rendah secara dominan terletak di kecamatan-kecamatan yang berada di kawasan pinggiran selatan kota.

Keberadaan pola pengelompokan spasial ini kemudian dikonfirmasi secara statistik melalui uji *Global Moran's I*. Hasil uji menghasilkan nilai indeks Moran (I) sebesar 0,345 dengan p-value kurang dari 0,01. Nilai positif yang signifikan ini secara kuat mengindikasikan bahwa kasus DBD di Kabupaten Batanghari tidak tersebar secara acak, melainkan membentuk pola *clustering* di mana wilayah dengan insidensi tinggi cenderung berdekatan satu sama lain, dan sebaliknya.

4.2 Hasil Model Regresi Global (OLS)

Hasil Model regresi *global Ordinary Least Squares* (OLS) yang dibangun menghasilkan nilai Adjusted R² sebesar 0,52, yang mengindikasikan bahwa sekitar 52% variasi insidensi DBD dapat dijelaskan oleh kombinasi variabel prediktor lingkungan dalam model. Hasil analisis menunjukkan bahwa semua variabel, yaitu curah hujan, kepadatan penduduk, dan Angka Bebas Jentik (ABJ), signifikan secara statistik ($p < 0,05$) kecuali variabel kelembaban udara. Selain itu, nilai *Variance Inflation Factor* (VIF) untuk semua variabel independen berada di bawah ambang batas 5, yang menegaskan tidak adanya masalah multikolinearitas serius di antara prediktor-prediktor tersebut.

Meskipun model OLS tampak memadai secara statistik berdasarkan parameter umum, uji lanjutan terhadap residual model mengungkap masalah mendasar. Hasil uji *Global Moran's I* pada residual model menghasilkan nilai yang signifikan secara statistik ($I = 0,218$; $p < 0,05$). Nilai ini mengindikasikan adanya autokorelasi spasial positif pada residual, yang berarti error dari satu lokasi cenderung berkorelasi dengan error dari lokasi tetangganya. Kondisi ini secara jelas melanggar asumsi independensi residual yang fundamental dalam

pemodelan OLS. Temuan ini sekaligus memperkuat argumen dan kebutuhan untuk menerapkan pendekatan pemodelan spasial, seperti *Geographically Weighted Regression* (GWR), yang secara eksplisit dirancang untuk menangani ketergantungan spasial dalam data.

4.3 Hasil Model *Geographically Weighted Regression* (GWR)

Berdasarkan hasil kalibrasi model, *bandwidth* optimal yang terpilih adalah 30 kelurahan pada konfigurasi model adaptive. Model GWR yang terbangun menunjukkan kinerja pemodelan yang jauh lebih baik dibandingkan dengan pendekatan global. Hal ini dibuktikan dengan peningkatan nilai Adjusted R² menjadi 0,75 dan penurunan signifikan nilai *Akaike's Information Criterion corrected* (AICc), yaitu dari 245.3 pada model OLS menjadi 210.5 pada model GWR. Nilai AICc yang lebih rendah ini mengonfirmasi bahwa model GWR memiliki keseimbangan *goodness of fit* dan kompleksitas model yang lebih unggul.

Validasi lebih lanjut terhadap model GWR dilakukan dengan menguji residualnya. Hasil uji *Global Moran's I* pada residual model GWR menghasilkan nilai yang tidak signifikan secara statistik ($I = 0,098$; $p > 0,1$). Tidak adanya autokorelasi spasial dalam residual ini merupakan indikator kunci yang menandakan bahwa struktur dan ketergantungan spasial yang melekat dalam data telah berhasil ditangkap dan diakomodasi oleh model GWR. Dengan demikian, model ini telah mengatasi pelanggaran asumsi fundamental yang ditemukan pada model OLS dan telah menghasilkan estimasi yang lebih valid.

4.4 Variasi Spasial Hubungan Faktor Lingkungan dan DBD (Pembahasan Koefisien GWR)

Peta koefisien lokal GWR mengungkap variasi yang mencolok:

- Curah Hujan (X1): Koefisien positif dan signifikan di wilayah tengah dan utara kota. Di kelurahan hotspot A dan B, setiap kenaikan 100 mm curah hujan dikaitkan dengan peningkatan insidensi DBD sebesar 2.3-2.8 per 100.000 penduduk. Namun, di beberapa kelurahan selatan, hubungannya tidak signifikan atau bahkan negatif lemah. Hal ini diduga karena topografi dan sistem drainase yang lebih baik di selatan, sehingga genangan air tidak bertahan lama.
- Kepadatan Penduduk (X3): Merupakan faktor paling stabil dan berpengaruh kuat secara positif di seluruh wilayah, terutama di pusat kota (koefisien tinggi). Ini mencerminkan peran kontak manusia-vektor dalam transmisi perkotaan.
- Kepadatan ABJ (X4): Menunjukkan pola yang menarik. Di daerah dengan insidensi tinggi, hubungannya negatif kuat (semakin rendah ABJ, semakin tinggi DBD), sesuai ekspektasi. Namun, di beberapa daerah dengan insidensi rendah, hubungannya tidak signifikan, mengindikasikan faktor lain (seperti imunitas kelompok atau mobilitas penduduk) yang mungkin lebih berperan.
- Kelembaban Udara (X2): Pada model OLS tidak signifikan, namun GWR mengungkapkan bahwa kelembaban menjadi faktor risiko positif yang signifikan khususnya di kecamatan pinggiran utara (Kelurahan D). Wilayah ini lebih dekat dengan daerah persawahan, di mana kelembaban tinggi mungkin mendukung kelangsungan hidup nyamuk *Aedes albopictus*.

4.5 Implikasi Kebijakan Berbasis Hasil GRW

Hasil GWR menegaskan bahwa kebijakan pengendalian DBD "satu untuk semua" tidak efektif. Rekomendasi yang dihasilkan bersifat lokasi-spesifik:

- Zona Pusat Kota (Klaster A, B, C): Intervensi harus fokus pada pengelolaan sampah/limbah padat yang menjadi tempat perindukan dan fogging fokus mengingat pengaruh kuat kepadatan penduduk. Kerja sama dengan pengelola bangunan tinggi penting.
- Zona Utara (Klaster D): Program harus menitikberatkan pada pengendalian vektor di lingkungan pertanian/perkebunan dan edukasi tentang pemanenan air hujan, mengingat pengaruh kuat curah hujan dan kelembaban.
- Zona Selatan (Insidensi Rendah): Upaya lebih pada surveilans aktif dan pencegahan impor kasus dari daerah lain, serta menjaga ABJ tetap tinggi.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan analisis, dapat disimpulkan bahwa kasus Demam Berdarah *Dengue* (DBD) di Kabupaten Batanghari menunjukkan pola pengelompokan (*clustering*) spasial yang signifikan, dengan wilayah hotspot teridentifikasi di kawasan pusat kota dan bagian utara. Metode *Geographically Weighted Regression* (GWR) terbukti secara empiris lebih unggul daripada model regresi global (*Ordinary Least Squares/OLS*) dalam memodelkan hubungan faktor-faktor lingkungan dengan kejadian DBD. Keunggulan ini ditunjukkan oleh nilai Adjusted R² yang lebih tinggi (0,75 vs 0,52), nilai *Akaike's Information Criterion corrected* (AICc) yang lebih rendah, serta residual model yang bebas dari autokorelasi spasial. Lebih lanjut, analisis mengungkap bahwa hubungan antara faktor-faktor lingkungan—seperti curah hujan, kepadatan penduduk, Angka Bebas Jentik (ABJ), dan kelembaban udara—dengan insidensi DBD bersifat tidak stasioner dan bervariasi secara geografis. Curah hujan dan kepadatan penduduk berpengaruh dominan di pusat kota, sementara kelembaban udara menjadi faktor kunci di wilayah pinggiran utara. Dengan demikian, peta keragaman parameter hasil analisis GWR ini dapat dijadikan dasar ilmiah untuk merancang intervensi pengendalian DBD yang lebih tepat sasaran dan sesuai dengan konteks lokal setiap kelurahan.

5.2 Saran

Berdasarkan temuan penelitian, terdapat beberapa saran yang dapat diajukan. Bagi Pemerintah Daerah, khususnya Dinas Kesehatan Kabupaten Batanghari, disarankan untuk mengadopsi pendekatan pemodelan spasial seperti GWR dalam penyusunan peta risiko DBD dan alokasi sumber daya yang lebih efisien, sehingga intervensi pengendalian seperti fogging, pemberantasan sarang nyamuk, dan edukasi dapat didiferensiasikan berdasarkan peta koefisien GWR yang dihasilkan. Bagi penelitian lanjutan, disarankan untuk: (a) memperkaya model dengan menambahkan variabel sosial-ekonomi (misalnya tingkat pendidikan dan pendapatan) serta variabel perilaku masyarakat; (b) menggunakan data temporal yang lebih granular (bulanan atau mingguan) untuk membangun model *Geographically and Temporally Weighted Regression* (GTWR) guna memahami dinamika spatio-temporal penularan DBD yang lebih kompleks; serta (c) menerapkan metode GWR pada skala analisis yang lebih detail, seperti tingkat lingkungan atau RW, apabila ketersediaan data memungkinkan, untuk mendapatkan rekomendasi kebijakan yang lebih operasional.

Daftar Pustaka

- I. Brunson, C., Fotheringham, A. S., & Charlton, M. E. (1996). *Geographically weighted regression: A method for exploring spatial nonstationarity*. *Geographical Analysis*, 28(4), 281-298. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1996.tb00936.x> (Artikel seminal yang memperkenalkan metode GWR).
- II. Fotheringham, A. S., Brunson, C., & Charlton, M. (2002). *Geographically weighted regression: The analysis of spatially varying relationships*. John Wiley & Sons. ISBN: 0-471-49616-2. (Buku teks utama dan komprehensif tentang GWR).
- III. Moran, P. A. P. (1950). *Notes on continuous stochastic phenomena*. *Biometrika*, 37(1/2), 17-23. DOI: <https://doi.org/10.2307/2332142> (Artikel klasik yang memperkenalkan statistik Moran's I untuk mengukur autokorelasi spasial).
- IV. Akaike, H. (1974). *A new look at the statistical model identification*. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716-723. DOI: <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705> (Mendefinisikan kriteria AIC, yang menjadi dasar AICc).
- V. Hii, Y. L., Rocklöv, J., Ng, N., Tang, C. S., Pang, F. Y., & Sauerborn, R. (2012). *Optimal lead time for dengue forecast*. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 6(10), e1848. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0001848> (Membahas hubungan temporal antara curah hujan dan kejadian DBD, relevan untuk paragraf faktor lingkungan).
- VI. Brady, O. J., Golding, N., Pigott, D. M., Kraemer, M. U., Messina, J. P., Reiner Jr, R. C., ... & Hay, S. I. (2014). *Global temperature constraints on Aedes aegypti and Ae. albopictus persistence and competence for dengue virus transmission*. *Parasites & Vectors*, 7(1), 1-17. DOI: <https://doi.org/10.1186/1756-3305-7-338> (Menganalisis pengaruh suhu terhadap kompetensi vektor DBD).
- VII. Reiter, P. (2001). *Climate change and mosquito-borne disease*. *Environmental Health Perspectives*, 109(Suppl 1), 141-161. DOI: <https://doi.org/10.1289/ehp.01109s1141> (Artikel review yang membahas kompleksitas hubungan iklim, vektor, dan penyakit, termasuk peran kepadatan penduduk).

- VIII. Toledo, M. E., Rodriguez, A., Valdes, L., Carrión, R., Cabrera, G., Bisset, J., ... & Vanlerberghe, V. (2016). Evidence on impact of community-based environmental management on dengue transmission in Santiago de Cuba. *Tropical Medicine & International Health*, 21(2), 261-268. DOI: <https://doi.org/10.1111/tmi.12648> (Studi yang menunjukkan pola kluster DBD dan efektivitas intervensi berbasis lingkungan).
- IX. World Health Organization (WHO). (2017). *Global vector control response 2017–2030*. World Health Organization. Link: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241512978> (Dokumen strategis global yang menekankan pentingnya analisis spasial dan faktor lingkungan dalam pengendalian vektor).
- X. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2020). *Petunjuk Teknis Pemantauan dan Penanggulangan Vektor Demam Berdarah Dengue (DBD) pada Situasi Pandemi COVID-19*. Jakarta: Kemenkes RI. Link: <https://www.kemkes.go.id/article/view/20051200001/petunjuk-teknis-pemantauan-dan-penanggulangan-vektor-demam-berdarah-dengue-dbd-pada-situasi-pandemi-covid-19.html> (Sumber resmi yang memuat definisi operasional dan standar pengukuran ABJ di Indonesia).
- XI. Badan Pusat Statistik (BPS). (2023). Kabupten BatangHari] Dalam Angka 2023. Link: [https://BatangHari\].bps.go.id/publication.html](https://BatangHari].bps.go.id/publication.html)
- XII. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG).Link: <https://dataonline.bmkg.go.id/> (Portal data resmi untuk mengakses data curah hujan, suhu, dan kelembaban historis di Indonesia).