

Pemodelan Spasio-Temporal HIV/AIDS dan Hepatitis B & C di Jawa Tengah Menggunakan Model Bayesian Multivariat

Elza Ully Tiara Tampubolon^{1*}, Bagus Kusuma²,

¹ Mahasiswa Matematika, FMIPAM, Universitas Pertahanan Republik Indonesia

² Mahasiswa Matematika, FMIPAM, Universitas Pertahanan Republik Indonesia

elzaullytiaratampubolon@gmail.com

Diterima: 15-01-2026; Direvisi:16-03-2026; Dipublikasi: 25-03-2026

Abstract

HIV/AIDS and Hepatitis B and C are communicable diseases that continue to pose major public health challenges due to their high disease burden and similar transmission pathways. In Central Java Province, Indonesia, the incidence of both diseases remains substantial, with considerable spatial heterogeneity across districts and municipalities, highlighting the need for comprehensive spatio-temporal analysis. This study aims to examine the risk patterns of HIV/AIDS and Hepatitis B and C using a Bayesian Multivariate Spatio-Temporal Model implemented through the Integrated Nested Laplace Approximation (INLA) framework. The analysis is based on BPJS Kesehatan data from 2019 to 2023, covering 35 districts/cities in Central Java. Model comparison results indicate that the combination of a pCAR spatial prior, an RW1 temporal prior, and a Type I spatio-temporal interaction provides the best model performance, as evidenced by DIC = 4007.37, WAIC = 3925.16, and Log Score = 11113.66. Correlation analysis reveals a moderately strong positive spatial correlation between HIV/AIDS and Hepatitis B and C, suggesting that areas with elevated HIV/AIDS risk tend to also experience higher Hepatitis B and C risk. In contrast, the temporal correlation is weak and inconsistent ($\rho_{t12} = -0.056$), indicating differing temporal dynamics between the two diseases. Relative risk mapping identifies recurrent high-risk clusters in specific districts, reinforcing the robustness of the posterior probability estimates ($RR > 1$). These findings demonstrate the effectiveness of Bayesian multivariate modeling in capturing joint spatio-temporal variations and provide valuable evidence to support targeted, area-based public health interventions.

Keywords: HIV/AIDS; Hepatitis B and C; Multivariate Bayesian; Spatio-Temporal; Central Java

Abstrak

HIV/AIDS serta Hepatitis B dan C merupakan penyakit menular yang hingga saat ini masih menjadi permasalahan serius dalam kesehatan masyarakat, mengingat tingginya beban morbiditas dan mortalitas serta kesamaan jalur penularannya. Di Provinsi Jawa Tengah, jumlah kasus kedua penyakit ini tergolong signifikan dengan pola sebaran yang tidak merata antar kabupaten/kota, sehingga memerlukan pendekatan analisis yang mampu menangkap variasi spasial dan temporal secara simultan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola risiko HIV/AIDS dan Hepatitis B & C menggunakan Bayesian Multivariate Spatio-Temporal Model dengan pendekatan Integrated Nested Laplace Approximation (INLA). Data yang digunakan bersumber dari BPJS Kesehatan periode 2019–2023 yang mencakup 35 kabupaten/kota di Jawa Tengah. Hasil evaluasi model menunjukkan bahwa kombinasi prior spasial pCAR, prior temporal RW1, serta interaksi spasio-temporal Type I memberikan kinerja terbaik, ditunjukkan oleh nilai DIC sebesar 4007,37, WAIC sebesar 3925,16, dan Log Score sebesar 11113,66. Analisis korelasi mengindikasikan adanya hubungan spasial positif yang cukup kuat antara HIV/AIDS dan Hepatitis B & C, yang menunjukkan kecenderungan wilayah berisiko tinggi pada satu penyakit juga berisiko tinggi pada penyakit lainnya. Sebaliknya, korelasi temporal teridentifikasi lemah dan tidak konsisten, mencerminkan perbedaan dinamika waktu kedua penyakit. Pemetaan risiko relatif mengungkap kluster wilayah berisiko tinggi yang berulang

pada beberapa kabupaten/kota tertentu. Temuan ini menegaskan efektivitas pendekatan Bayesian multivariat sebagai dasar perumusan kebijakan intervensi kesehatan berbasis wilayah.

Kata Kunci: HIV/AIDS; Hepatitis B dan C; Bayesian Multivariat; Spasio-Temporal; Jawa Tengah)

1. PENDAHULUAN

Penyakit menular masih menjadi tantangan utama kesehatan masyarakat global karena menyumbang angka kesakitan dan kematian yang tinggi. Di antara penyakit tersebut, *Human Immunodeficiency Virus/Acquired Immunodeficiency Syndrome* (HIV/AIDS) dan Hepatitis B & C merupakan dua masalah yang terus mendapat perhatian dunia (Beard & Hill, 2024; Rashti et al., 2020). Kedua penyakit ini tidak hanya berdampak pada kesehatan individu, tetapi juga menimbulkan beban ekonomi dan sosial yang besar terutama di negara berpenghasilan menengah ke bawah, termasuk Indonesia.

HIV/AIDS merupakan penyakit infeksi menular yang disebabkan oleh virus HIV, yang menyerang sistem kekebalan tubuh dan menyebabkan penurunan kemampuan tubuh dalam melawan infeksi (Fauk et al., 2023). Kondisi ini menjadikan penderitanya rentan terhadap berbagai infeksi oportunistik serta penyakit kronis lainnya yang dapat berujung pada kematian apabila tidak ditangani dengan baik. Sementara itu, Hepatitis B dan C merupakan penyakit yang disebabkan oleh virus Hepatitis B (HBV) dan Hepatitis C (HCV) yang menyerang organ hati dan berpotensi menimbulkan peradangan kronis, sirosis, hingga kanker hati (Kanda et al., 2019; Ringehan et al., 2017). Kedua penyakit ini masih menjadi beban kesehatan masyarakat yang signifikan di berbagai negara, termasuk Indonesia, karena sifatnya yang kronis dan penularannya yang sulit dikendalikan.

HIV/AIDS dan Hepatitis B & C memiliki jalur penularan yang serupa, yaitu melalui hubungan seksual tidak aman, penggunaan jarum suntik tidak steril, serta paparan darah dan produk darah yang terkontaminasi (Marin et al., 2025). Kesamaan faktor risiko tersebut menyebabkan keduanya sering muncul bersamaan pada kelompok populasi tertentu, sehingga koinfeksi menjadi masalah klinis yang kompleks dan menantang (Mohammadi et al., 2009). Kondisi ini dapat mempercepat progresivitas penyakit, memperburuk komplikasi hati, serta menurunkan kualitas hidup pasien secara signifikan (Cheng et al., 2021; Marin et al., 2025). Oleh karena itu, penting untuk memahami pola penyebaran HIV/AIDS dan Hepatitis B & C secara spasial dan temporal, agar strategi pencegahan dan pengendalian dapat dirancang lebih tepat sasaran serta sesuai dengan karakteristik wilayah dan populasi berisiko.

Di Indonesia, HIV/AIDS dan Hepatitis B & C masih menjadi prioritas nasional dalam pengendalian penyakit menular. Menurut data BPJS Kesehatan Provinsi Jawa Tengah merupakan salah satu wilayah dengan beban kasus yang cukup tinggi, dengan variasi distribusi yang berbeda antar kabupaten/kota. Situasi ini menunjukkan bahwa risiko penyakit tidak tersebar merata, melainkan membentuk pola spasial tertentu yang

berubah seiring waktu. Sayangnya, sebagian besar penelitian yang ada masih menganalisis kedua penyakit ini secara terpisah, sehingga potensi keterkaitan spasial-temporal antar keduanya belum banyak dikaji secara mendalam.

Penelitian-penelitian sebelumnya di berbagai negara telah menunjukkan manfaat analisis spasio-temporal untuk memahami pola penyebaran penyakit menular. Misalnya (Otiende et al., 2020), menemukan keterkaitan spasial HIV dan Tuberkulosis di Kenya menggunakan pendekatan Bayesian, sementara (Qian et al., 2023) menganalisis variasi spasio-temporal Hepatitis B & C di Tiongkok. Namun, studi yang mengkaji HIV/AIDS dan Hepatitis B & C secara bersama-sama di Indonesia masih sangat terbatas, padahal kedua penyakit ini berpotensi saling memengaruhi dalam distribusinya.

Model Bayesian multivariat telah banyak digunakan dalam epidemiologi untuk menganalisis beberapa penyakit secara bersamaan dengan mempertimbangkan keterkaitan spasial dan temporal. Botella-Rocamora et al. (Botella-Rocamora et al., 2015) mengusulkan kerangka *multivariate disease mapping* berbasis Bayesian yang memungkinkan analisis beberapa penyakit melalui struktur kovarians antarpenyakit. mengembangkan paket R INLAMSM untuk mengimplementasikan model multivariat spasial menggunakan INLA, termasuk pendekatan *multivariate conditional autoregressive (MCAR)* dengan struktur kovarians sederhana maupun umum. Vicente et al. (Vicente et al., 2020) menunjukkan aplikasi empiris model ini pada kasus kekerasan berbasis gender di India, dan hasilnya membuktikan bahwa pendekatan multivariat mampu menangkap pola spasial-temporal bersama yang tidak terlihat dalam analisis univariat. Temuan serupa juga terlihat pada bidang kesehatan lainnya. Li et al. (Li & others, 2019) menganalisis Hepatitis B di Tiongkok dengan model spasio-temporal Bayesian, sementara Huang et al. (Huang & others, 2021) menerapkannya pada HIV/AIDS di Zhejiang. Studi multivariat lain di bidang kanker langka (Richardson & others, 2022) serta penyakit kanker di Spanyol (Beneito et al., 2021) menegaskan bahwa pemodelan multivariat meningkatkan akurasi estimasi risiko dan pemetaan spasio-temporal dibandingkan pendekatan univariat.

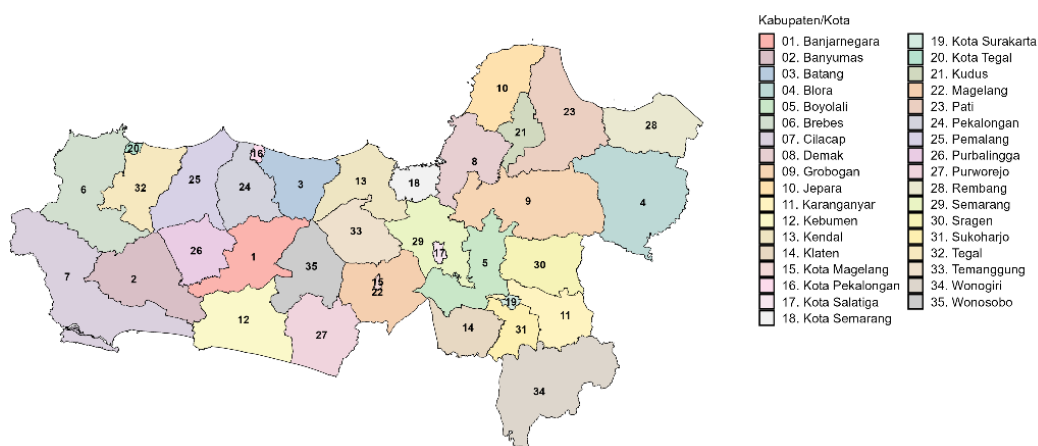
Meskipun hasil penelitian tersebut menunjukkan potensi besar, sebagian besar studi masih berfokus pada satu penyakit atau kelompok penyakit sejenis. Belum banyak penelitian yang secara simultan mengintegrasikan HIV/AIDS dan Hepatitis B & C dalam satu kerangka Bayesian multivariat, khususnya di Indonesia. Untuk mengisi kesenjangan tersebut, penelitian ini menerapkan model Bayesian multivariat yang dirancang untuk menganalisis HIV/AIDS dan Hepatitis B & C secara simultan dengan memperhitungkan keterkaitan spasial maupun temporal. Estimasi parameter dilakukan menggunakan INLA, yang terbukti lebih efisien dan akurat dibandingkan metode Bayesian tradisional. Data penelitian bersumber dari BPJS Kesehatan periode 2019–2023, mencakup seluruh kabupaten/kota di Provinsi Jawa Tengah.

Tujuan utama penelitian ini adalah memberikan gambaran menyeluruh mengenai pola spasio-temporal kedua penyakit tersebut, termasuk pemetaan wilayah dengan risiko tinggi, analisis keterkaitan spasial-temporal antarpenyakit, serta penyusunan bukti ilmiah yang dapat mendukung formulasi kebijakan kesehatan berbasis wilayah. Dengan pendekatan ini, hasil penelitian diharapkan mampu membantu pemerintah daerah dan tenaga kesehatan dalam merancang intervensi yang lebih efektif, terintegrasi, dan berkeadilan. Kontribusi utama penelitian ini adalah menyajikan analisis spasio-temporal komprehensif HIV/AIDS dan Hepatitis B & C secara bersamaan, sehingga menghasilkan pemahaman baru mengenai keterkaitan epidemiologis keduanya di tingkat wilayah.

2. METODE PELAKSANAAN

a. DATA

Gambar 1 menunjukkan peta administrasi Provinsi Jawa Tengah yang terdiri atas 35 kabupaten/kota sebagai unit analisis dalam penelitian ini. Data jumlah kasus HIV/AIDS dan Hepatitis B & C diperoleh dari Badan Penyelenggara Jaminan Sosial (BPJS) Kesehatan melalui portal resmi <https://data.bpjs-kesehatan.go.id/bpjs-portal/> untuk periode 2019–2023, dengan pengelompokan berdasarkan tahun pengamatan, wilayah administrasi, serta kode penyakit sesuai International Classification of Diseases, 10th Revision (ICD-10), yaitu B20–B24 untuk HIV/AIDS, B18 untuk Hepatitis B & C. Seluruh proses praproses dan analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak R Studio guna menjamin ketelitian analisis, transparansi metode, serta reproduibilitas hasil penelitian.



Gambar 1. Peta Provinsi Jawa Tengah

Tabel 1 menyajikan ringkasan statistik deskriptif tahunan kasus HIV/AIDS, Hepatitis B & C, serta Tuberkulosis di Provinsi Jawa Tengah selama periode 2019–2023.

Tabel 1. Statistik deskriptif

HIV/AIDS						
Tahun	Min	q1	Mean	q2	Max	SD
2019	0	0	1.914	3	10	2.063
2020	0	1	2.629	3.5	10	2.462
2021	0	1	2.371	3	7	2.016
2022	0	1	3.143	4.5	10	2.403
2023	0	1	3.743	5.5	13	2.984
Hepatitis B & C						
Tahun	Min	q1	Mean	q2	Max	SD
2019	0	1	3.114	5	15	3.132
2020	0	0.5	2.629	4	12	2.745
2021	0	1	2.714	3.5	20	3.691
2022	0	1	3.029	3	18	3.485
2023	0	1	3.514	5	21	4.224

Selama periode 2019 hingga 2023, rata-rata jumlah kasus HIV/AIDS mengalami peningkatan dari 1,91 menjadi 3,74 kasus per wilayah, disertai kenaikan standar deviasi dari 2,06 menjadi 2,98, yang mencerminkan bertambahnya beban penyakit serta variasi spasial yang semakin besar. Pola serupa juga terlihat pada Hepatitis B & C, dengan rata-rata meningkat dari 3,11 menjadi 3,51 kasus, serta kenaikan standar deviasi dari 3,13 menjadi 4,22.

b. METODE

1. Bayesian Multivariate modelling

Model multivariat memiliki potensi untuk memberikan estimasi risiko yang lebih baik dibandingkan dengan model univariat lama. Misalkan Y_{ij} , e_{ij} , dan r_{ij} secara berturut-turut meyimbolkan jumlah kejadian yang diamati, jumlah kejadian yang di ekspektasikan, dan risiko relatif kejadian di wilayah ke- i pada kasus ke- j (Vicente et al., 2020)

$$Y_{ij} | r_{ij} \sim \text{Poisson}(\mu_{ij} = e_{ij} \cdot r_{ij}), \quad (1)$$

$$\log \mu_{ij} = \log e_{ij} + \log r_{ij}, \quad (2)$$

dimana

$$\log(r_{ij}) = \alpha_j + \sum_{k=1}^n \beta_{jk} x_{ik} + \theta_{ij}, \quad (3)$$

dalam bentuk matriks, model dapat ditransformasi

$$\log \mathbf{r} = (\mathbf{I}_j \otimes \mathbf{1}_n) \boldsymbol{\alpha} + \sum_{k=1}^n ((\mathbf{I}_j \otimes \mathbf{X}_k) \boldsymbol{\beta}_k) + \boldsymbol{\theta}, \quad (4)$$

di mana $\mathbf{r} = (\mathbf{r}'_1, \dots, \mathbf{r}'_j)'$ merupakan vektor risiko relative dengan $\mathbf{r}_j = (\mathbf{r}_{1j}, \dots, \mathbf{r}_{nj})'$ untuk $j = 1, \dots, J$, \mathbf{I}_j adalah $J \times J$ matriks identitas, $\mathbf{1}_n$ adalah vektor satuan dengan panjang n (Urdangarin Iztueta et al., 2024). Vektor intersepsi khusus kejadian dan koefisien regresi dilambangkan dengan $\boldsymbol{\alpha} = (\alpha_j, \dots, \alpha_j)'$ dan $\boldsymbol{\beta}_k = (\beta_{k1}, \dots, \beta_{kj})'$. Yang terakhir, $\boldsymbol{\theta} = (\theta'_1, \dots, \theta'_j)'$ di mana $\boldsymbol{\theta}_j = (\theta_{1j}, \dots, \theta_{nj})'$ adalah vektor efek acak spasial dari kasus kejadian ke- j . Ketergantungan dalam dan antar kasus kejadian direpresentasikan melalui matriks kovarians dari efek acak spasial. Secara khusus distribusi prior berikut dengan kernel Gaussian $p(\boldsymbol{\theta}) \propto \exp(-\frac{\tau}{2} \boldsymbol{\theta}' \boldsymbol{\Omega}_\theta \boldsymbol{\theta})$ diasumsikan untuk $\boldsymbol{\theta}$ dengan matriks presisi

$$\boldsymbol{\Omega}_\theta = (\boldsymbol{\Sigma}_b^{-1} \otimes \mathbf{I}_n) \text{Blockdiag}(\boldsymbol{\Omega}_1, \dots, \boldsymbol{\Omega}_j),, \quad (5)$$

Dalam model ini, ketergantungan antarpenyakit direpresentasikan melalui matriks kovarians yang harus diestimasi dari data. Efek spasial dimodelkan menggunakan matriks presisi $\boldsymbol{\Omega}_j$ yang dapat mengikuti salah satu prior spasial, yaitu pCAR, mCAR, atau iCAR. Struktur spasial wilayah ditentukan oleh matriks ketetanggaan $W = (w_{il})$, di mana $w_{il} = 1$ menunjukkan bahwa area ke- i berbatasan dengan area ke- l , dan $w_{il} = 0$ sebaliknya (Urdangarin Iztueta et al., 2024). Elemen diagonal dari matriks ini menunjukkan jumlah tetangga tiap wilayah, sedangkan λ digunakan sebagai parameter ketergantungan spasial. Dengan pendekatan ini, pola keterhubungan antarwilayah dapat dimasukkan secara eksplisit dalam model, sehingga estimasi risiko relatif penyakit menjadi lebih akurat

2. Model Estimation Using INLA

INLA (*Integrated Nested Laplace Approximation*) adalah metode statistik berbasis Bayesian yang digunakan untuk melakukan estimasi parameter dalam model hierarkis (Orozco-Acosta et al., 2023) Metode ini memungkinkan penggunaan model-model statistik yang lebih kompleks dan fleksibel dibandingkan teknik inferensi Bayesian tradisional, serta menawarkan kecepatan komputasi yang lebih efisien dan hasil estimasi yang lebih presisi (Van Niekerk et al., 2023). Langkah awal dalam membangun model Gaussian laten pada kerangka Bayesian adalah mendefinisikan distribusi data yang diamati $\mathbf{y} = (y_1, \dots, y_n)$. Setiap data y_i diasumsikan berasal dari suatu distribusi dengan parameter ϕ_i , yang dihubungkan dengan prediktor aditif terstruktur

η_i melalui fungsi tautan $g(\cdot)$, sehingga $g(\phi_i) = \eta_i$. Prediktor linier aditif ini dirumuskan sebagai:

$$\eta_i = \beta_0 + \sum_{m=1}^M \beta_m x_{mi} + \sum_{l=1}^L f_l(z_{li}), \quad (6)$$

dengan β_0 sebagai intersep, $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_M)$ koefisien linear kovariat, serta $f_l(\cdot)$ menggambarkan fungsi nonlinier, yang dapat mencakup tren waktu, efek musiman, hingga variasi spasial maupun temporal (Blangiardo et al., 2013). Seluruh komponen yang tidak dapat diamati dihimpun dalam parameter θ , sedangkan ψ mewakili vektor hiperparameter. Dengan asumsi independensi kondisional, distribusi likelihood dituliskan sebagai:

$$p(y|\theta, \psi) = \prod_{i=1}^n p(y_i|\theta_i, \psi). \quad (7)$$

Pendekatan Bayesian kemudian difokuskan pada dua hal. Pertama, memperoleh distribusi posterior hiperparameter ψ , yang dihitung dengan pendekatan Laplace dan metode iterasi grid hingga tercapai konvergensi. Kedua, mengevaluasi distribusi posterior marginal parameter laten θ , yang diperoleh dengan mengintegrasikan hiperparameter ψ dari distribusi gabungan. Proses ini dilakukan menggunakan rata-rata tertimbang berbasis grid.

Dengan demikian, kerangka Gaussian laten memungkinkan pemodelan yang fleksibel dalam mengakomodasi variasi linier maupun nonlinier, serta efek spasio-temporal, sehingga sangat relevan untuk analisis risiko kesehatan masyarakat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Estimasi Model Terbaik Menggunakan INLA

Dalam analisis spasio-temporal berbasis INLA, pemilihan model terbaik dilakukan dengan membandingkan berbagai kombinasi prior spasial (pCAR, mCAR, iCAR), prior temporal (RW1 dan RW2), serta jenis interaksi (Additive, Type I–IV). Evaluasi kinerja model didasarkan pada tiga indikator utama, yaitu Deviance Information Criterion (DIC), Watanabe–Akaike Information Criterion (WAIC), dan Log Score (LS), di mana nilai yang lebih rendah menunjukkan tingkat kecocokan model dan kemampuan prediksi yang lebih baik (Gelman et al., 2013).

Tabel 2. Kriteria pemilihan model, DIC, WAIC dan LS, untuk model yang diajukan

Prior Spasial	Prior Temporal	Jenis Interaksi	DIC	WAIC	LS
pCAR	RW1	pCAR.Additive	6691.00678	14010.1076	5019.09313
		pCAR.TypeI*	4007.36933	3925.15711	11163.6552
		pCAR.TypeII	4049.13948	4016.20134	10195.5979
		pCAR.TypeIII	4024.95525	3957.00099	11267.8913
		pCAR.TypeIV	4048.22415	4014.20366	10244.4168
	RW2	pCAR.Additive	6714.78759	13879.1125	5012.78434
		pCAR.TypeI	4025.01461	3957.25113	11289.6775
		pCAR.TypeII	4184.33431	4278.28534	11008.3656
		pCAR.TypeIII	4026.8425	3959.90968	11327.5249
		pCAR.TypeIV	4094.75974	4090.59296	10298.75
mCAR	RW1	mcar.Additive	6692.2642	14013.5875	5019.25494
		mCAR.TypeI	4007.62841	3925.52469	11158.523
		mCAR.TypeII	4050.5777	4017.94716	10243.7613
		mCAR.TypeIII	4025.43445	3957.30076	11295.3866
		mCAR.TypeIV	4048.91731	4014.88273	10236.9502
	RW2	mcar.Additive	6707.50252	13911.3033	5014.40923
		mCAR.TypeI	4025.48133	3958.2646	11270.3668
		mCAR.TypeII	4186.03591	4282.02401	11060.677
		mCAR.TypeIII	4026.87361	3960.31353	11319.82
		mCAR.TypeIV	4093.88715	4090.82083	10123.0948
iCAR.	RW1	iCar.Additive	6692.2642	14013.5875	5019.25494
		iCAR.TypeI	4007.62827	3925.52231	11158.4537
		iCAR.TypeII	4050.5777	4017.94716	10243.7613
		iCAR.TypeIII	4025.13763	3957.15406	11289.9994
		iCAR.TypeIV	4048.91731	4014.88273	10236.9502
	RW2	iCar.Additive	6707.40481	13912.0174	5014.43862
		iCAR.TypeI	4025.48133	3958.2646	11270.3668
		iCAR.TypeII	4186.03591	4282.02401	11060.677
		iCAR.TypeIII	4026.87484	3960.31346	11319.9819
		iCAR.TypeIV	4093.88715	4090.82083	10123.0948

Tabel 2 menampilkan hasil perbandingan model berdasarkan variasi prior spasial, prior temporal, dan jenis interaksi. Kombinasi prior spasial pCAR, prior temporal RW1, serta interaksi Type I menghasilkan performa terbaik dengan nilai DIC = 4007.37, WAIC = 3925.16, dan LS = 11113.66, yang merupakan nilai terendah dibandingkan model lain. Oleh karena itu, model ini dipilih sebagai model utama, sedangkan secara umum prior pCAR dengan struktur temporal RW1 menunjukkan kinerja yang lebih optimal dibandingkan kombinasi lainnya.

b. Analisis Korelasi Antar Penyakit

Korelasi antar HIV/AIDS dan Hepatitis B & C dianalisis pada dimensi spasial dan temporal untuk mengevaluasi sejauh mana pola penyebaran risiko kedua penyakit ini

saling terkait di wilayah dan waktu tertentu. Hasil estimasi korelasi ditampilkan pada Tabel 3.

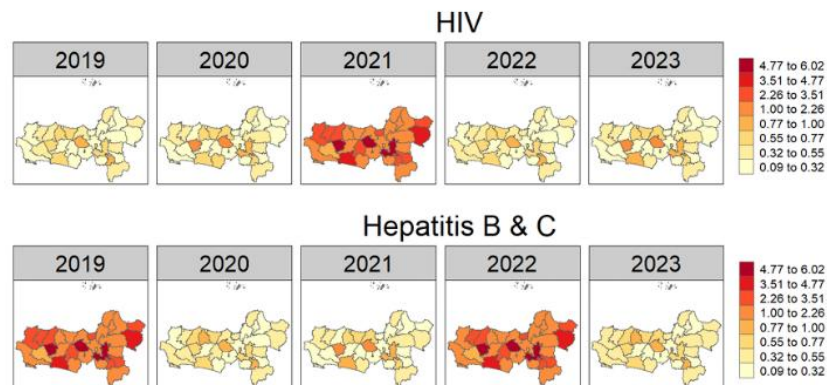
Tabel 3. Estimasi korelasi antar penyakit

	mean	sd	0.025quant	0.975quant	mode
rho.s12	0.666	0.173	0.271	0.933	0.755
rho.t12	-0.056	0.441	-0.810	0.804	-0.191

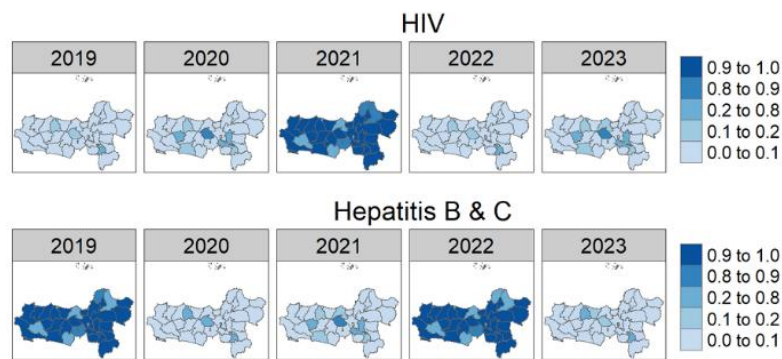
Tabel 3 menyajikan estimasi korelasi spasial dan temporal antara HIV/AIDS dan Hepatitis B & C. Korelasi spasial (rho.s12) memiliki rata-rata 0,666, menunjukkan adanya hubungan positif yang cukup kuat, sehingga wilayah dengan risiko tinggi HIV/AIDS cenderung juga memiliki risiko tinggi Hepatitis B & C. Nilai ini didukung oleh interval kredibel 95% dari 0,271 hingga 0,933, menunjukkan konsistensi pola spasial antar penyakit. Sebaliknya, korelasi temporal (rho.t12) bernilai negatif kecil (-0,056) dengan interval kredibel yang lebar (-0,810 hingga 0,804), menunjukkan bahwa perubahan risiko antar tahun untuk kedua penyakit ini tidak selalu bergerak searah. Hasil ini mengindikasikan bahwa meskipun pola spasialnya mirip, tren temporal risiko HIV/AIDS dan Hepatitis B & C bersifat lebih heterogen.

c. Estimasi Risiko Relatif Berdasarkan Model Bayesian Multivariat

Gambar 2 menyajikan distribusi spasial rata-rata posterior risiko relatif (RR), yang mengidentifikasi wilayah berisiko tinggi serta memantau perubahannya di setiap tahun. Gambar 3 melengkapi analisis tersebut dengan menampilkan probabilitas posterior dari relative risk > 1, yang berfungsi untuk mengukur tingkat keyakinan statistik terhadap keberadaan kelebihan risiko penyakit di suatu wilayah.



Gambar 2. Pemetaan Risiko Relatif



Gambar 3. Estimasi Probabilitas Risiko Relatif

Analisis distribusi risiko relatif (RR) untuk HIV/AIDS, Hepatitis B & C, dan Tuberkulosis di Jawa Tengah pada periode 2019–2023 menunjukkan pola spatio-temporal yang dinamis dan berulang. Untuk HIV/AIDS, Temanggung, Purbalingga, dan Sukoharjo menempati posisi tertinggi pada 2019 dengan $RR > 0,7$. Pada 2020, Kota Surakarta, Temanggung, dan Purbalingga memiliki $RR > 1$. Tahun 2021, $RR > 1$ tercatat di Temanggung, Boyolali, dan Purbalingga. Tahun 2022, Sukoharjo, Temanggung, dan Kota Salatiga menunjukkan $RR > 0,7$, dan pada 2023, Temanggung, Kota Surakarta, dan Purbalingga kembali memiliki $RR > 1$, menegaskan adanya kluster berulang di wilayah-wilayah tertentu.

Hepatitis B & C menunjukkan pola yang serupa, namun dengan fluktuasi intensitas yang lebih tinggi. RR tertinggi pada 2019 tercatat di Temanggung, Boyolali, dan Purbalingga dengan $RR > 5$, menurun menjadi $RR > 0,8$ di Sukoharjo, Temanggung, dan Kota Salatiga pada 2020. Tahun 2021, Temanggung, Kota Surakarta, dan Purbalingga memiliki $RR > 1$. Pada 2022, $RR > 5$ tercatat di Temanggung, Boyolali, dan Purbalingga, sementara pada 2023, Sukoharjo, Kota Salatiga, dan Pekalongan memiliki $RR > 0,8$, menunjukkan Hepatitis tetap menjadi beban penyakit berulang di perkotaan.

Gambar 3 memperkuat temuan sebelumnya dengan memvisualisasikan probabilitas posterior bahwa risiko relatif (RR) melebihi 1, sebagai ukuran keyakinan model terhadap kelebihan risiko di setiap wilayah. Analisis tahunan menunjukkan bahwa wilayah-wilayah dengan RR tinggi mempertahankan pola risiko yang sama pada peta probabilitas posterior, di mana area berisiko tinggi juga menunjukkan probabilitas posterior yang tinggi. Keselarasan antara RR dan probabilitas posterior ini mendemonstrasikan konsistensi internal model dan memberikan validasi tambahan terhadap identifikasi wilayah berisiko, sekaligus menggambarkan distribusi spasial dan temporal dari beban penyakit secara akurat.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa HIV/AIDS dan Hepatitis B & C di Jawa Tengah memiliki keterkaitan spasial yang kuat, di mana wilayah dengan risiko tinggi HIV/AIDS cenderung juga berisiko tinggi terhadap Hepatitis B & C akibat kesamaan faktor risiko seperti perilaku berisiko, mobilitas penduduk, serta keterbatasan akses layanan kesehatan, meskipun hubungan temporal kedua penyakit relatif lemah dan tidak selalu sejalan. Analisis spasial mengidentifikasi kluster risiko relatif tinggi yang konsisten, terutama di Temanggung, Purbalingga, Boyolali, dan Kota Surakarta,

yang mencerminkan pengaruh faktor struktural, sosial, dan karakteristik wilayah terhadap pola penyebaran penyakit. Dari sisi temporal, HIV/AIDS menunjukkan pola relatif stabil dengan lonjakan pada tahun 2021 yang berkaitan dengan pandemi COVID-19, sementara Hepatitis B & C mengalami penurunan kasus selama periode pandemi akibat tertundanya skrining dan surveilans, sebelum kembali meningkat saat layanan kesehatan pulih. Temuan ini menegaskan pentingnya intervensi kesehatan berbasis wilayah yang terfokus pada daerah berisiko tinggi melalui penguatan edukasi masyarakat, perluasan skrining dini, peningkatan cakupan vaksinasi Hepatitis, integrasi layanan dengan terapi antiretroviral, serta penguatan sistem surveilans agar lebih adaptif terhadap krisis kesehatan di masa mendatang.

5. SIMPULAN

Penelitian ini mengidentifikasi pola spasio-temporal HIV/AIDS dan Hepatitis B & C di Jawa Tengah menggunakan Bayesian Multivariate Spatio-Temporal Model berbasis INLA, dengan kombinasi prior pCAR, RW1, dan interaksi Type I sebagai model terbaik. Hasil analisis menunjukkan adanya korelasi spasial yang kuat antara kedua penyakit, meskipun dinamika temporalnya berbeda, terutama akibat dampak pandemi COVID-19 terhadap deteksi dan skrining. Pemetaan risiko relatif mengungkap kluster wilayah berisiko tinggi yang konsisten, khususnya di Temanggung, Purbalingga, Boyolali, dan Kota Surakarta, yang mencerminkan pengaruh faktor struktural, sosial, dan layanan kesehatan. Temuan ini menegaskan pentingnya intervensi kesehatan berbasis wilayah melalui penguatan edukasi, vaksinasi Hepatitis, perluasan skrining dini, serta peningkatan akses layanan kesehatan. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan pendekatan yang lebih integratif guna memisahkan efek bersama dan efek spesifik antar penyakit.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada BPJS Kesehatan dan Dinas Kesehatan Provinsi Jawa Tengah atas penyediaan data yang digunakan dalam penelitian ini. Apresiasi juga disampaikan kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan masukan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

7. REKOMENDASI

Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas cakupan penyakit menular yang dianalisis serta memasukkan variabel penjelas seperti faktor sosial, ekonomi, dan akses layanan kesehatan guna memperdalam pemahaman determinan risiko.

8. REFERENSI

- Beard, N., & Hill, A. (2024). Combined "Test and Treat" Campaigns for Human Immunodeficiency Virus, Hepatitis B, and Hepatitis C: A Systematic Review to Provide Evidence to Support World Health Organization Treatment Guidelines. *Open Forum Infectious Diseases*, 11(2). <https://doi.org/10.1093/ofid/ofad666>

- Blangiardo, M., Cameletti, M., Baio, G., & Rue, H. (2013). Spatial and spatio-temporal models with R-INLA. *Spatial and Spatio-Temporal Epidemiology*, 4, 33–49.
- Botella-Rocamora, P., Martínez-Beneito, M. A., & Banerjee, S. (2015). A unifying modeling framework for highly multivariate disease mapping. *Statistics in Medicine*, 34(9), 1548–1559. <https://doi.org/10.1002/sim.6423>
- Cheng, Z., Lin, P., & Cheng, N. (2021). HBV/HIV Coinfection: Impact on the Development and Clinical Treatment of Liver Diseases. In *Frontiers in Medicine* (Vol. 8). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.713981>
- Fauk, N. K., Gesesew, H. A., Mwanri, L., Hawke, K., & Ward, P. R. (2023). Understanding the quality of life of people living with HIV in rural and urban areas in Indonesia. *PLoS ONE*, 18(7 July). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0280087>
- Gelman, A., Hwang, J., & Vehtari, A. (2013). *Understanding predictive information criteria for Bayesian models*. <http://arxiv.org/abs/1307.5928>
- Huang, Y., & others. (2021). Bayesian spatio-temporal modeling of HIV/AIDS in Zhejiang Province, China. *BMC Infectious Diseases*, 21(100), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12879-020-05706-1>
- Joseph Mattingly Neha S Pandit Eberechukwu Onukwugha, T. I. (n.d.). *Burden of Co-Infection: A Cost Analysis of Human Immunodeficiency Virus in a Commercially Insured Hepatitis C Virus Population*. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.7745429>
- Kanda, T., Goto, T., Hirotsu, Y., Moriyama, M., & Omata, M. (2019). Molecular mechanisms driving progression of liver cirrhosis towards hepatocellular carcinoma in chronic hepatitis B and C infections: A review. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 20, Issue 6). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijms20061358>
- Li, X., & others. (2019). Spatio-temporal analysis of hepatitis B in China using Bayesian models. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(3), 468. <https://doi.org/10.3390/ijerph16030468>
- Marin, R. C., Tit, D. M., Bungău, G., & Moleriu, R. D. (2025). The Impact of Hepatitis B and/or C on Liver Function and on the Response to Antiretroviral Therapy in HIV-Infected Patients: A Romanian Cohort Study. *Pharmaceuticals*, 18(5). <https://doi.org/10.3390/ph18050688>
- Martínez-Beneito, M. A., Goicoa, T., & Ugarte, M. D. (2021). High-dimensional multivariate disease mapping with Bayesian hierarchical models. *Spatial and Spatio-Temporal Epidemiology*, 36, 100406. <https://doi.org/10.1016/j.sste.2020.100406>
- Mohammadi, M., Talei, G., Sheikhan, A., Ebrahimzade, F., Pournia, Y., Ghasemi, E., & Boroun, H. (2009). Survey of both Hepatitis B Virus (HBsAg) and Hepatitis C Virus (HCV-Ab) coinfection among HIV positive patients. *Virology Journal*, 6. <https://doi.org/10.1186/1743-422X-6-202>
- Orozco-Acosta, E., Adin, A., & Ugarte, M. D. (2023). Big problems in spatio-temporal disease mapping: methods and software. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 231, 107403.
- Otiende, V. A., Achia, T. N., & Mwambi, H. G. (2020). Bayesian hierarchical modeling of joint spatiotemporal risk patterns for Human Immunodeficiency Virus (HIV) and Tuberculosis (TB) in Kenya. *PLoS ONE*, 15(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234456>
- Palmari-Perales, F., Goicoa, T., & Ugarte, M. D. (2019). INLAMSM: An R package for multivariate spatial models using INLA. *Journal of Statistical Software*, 90(10), 1–30. <https://doi.org/10.18637/jss.v090.i10>
- Qian, J., Yue, M., Huang, P., Ai, L., Zhu, C., Wang, C., Luo, Y., Yue, N., Wu, Y., Zhang, Y., Wang, C., & Tan, W. (2023). Spatiotemporal heterogeneity and impact factors of hepatitis B and C in China from 2010 to 2018: Bayesian space–time hierarchy model. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1115087>
- Rashti, R., Sharafi, H., Alavian, S. M., Moradi, Y., Bolbanabad, A. M., & Moradi, G. (2020). Systematic review and meta-analysis of global prevalence of HBsAG and HIV and HCV antibodies among people who inject drugs and female sex workers. In *Pathogens* (Vol. 9, Issue 6). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/pathogens9060432>

- Richardson, S., & others. (2022). Multivariate Bayesian models for rare cancers: Spatio-temporal approaches. *Statistical Modelling*, 22(4), 267–289. <https://doi.org/10.1177/1471082X221083061>
- Ringehan, M., McKeating, J. A., & Protzer, U. (2017). Viral hepatitis and liver cancer. In *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* (Vol. 372, Issue 1732). Royal Society Publishing. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0274>
- Urdangarin Iztueta, A., Goicoa Mangado, T., Kneib, T., & Ugarte Mart\`inez, M. D. (2024). *A simplified spatial+ approach to mitigate spatial confounding in multivariate spatial areal models*.
- Van Niekerk, J., Krainski, E., Rustand, D., & Rue, H. (2023). A new avenue for Bayesian inference with INLA. *Computational Statistics & Data Analysis*, 181, 107692.
- Vicente, G., Goicoa, T., & Ugarte, M. D. (2020). Bayesian inference in multivariate spatio-temporal areal models using INLA: Analysis of gender-based violence in India. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 34(1), 75–89. <https://doi.org/10.1007/s00477-019-01728-w>