

PEMODELAN BAYESIAN SPASIAL CAR DALAM MENDUGA RISIKO RELATIF DBD DI KOTA BANDUNG

ANANDA SHAFIRA



PROGRAM STUDI MAGISTER STATISTIKA DAN SAINS DATA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Pemodelan Bayesian Spasial CAR dalam Menduga Risiko Relatif DBD di Kota Bandung” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2025

Ananda Shafira
G1501211012

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RINGKASAN

ANANDA SHAFIRA. Pemodelan Bayesian Spasial CAR dalam Menduga Risiko Relatif DBD di Kota Bandung. Dibimbing oleh ASEP SAEFUDDIN dan KUSMAN SADIK.

Demam Berdarah Dengue (DBD) merupakan salah satu penyakit menular yang masih menjadi masalah kesehatan masyarakat di Indonesia, termasuk di Kota Bandung. Penularan DBD dipengaruhi oleh sejumlah faktor spasial dan lingkungan, seperti kepadatan penduduk, ketinggian wilayah, kondisi sanitasi rumah (rumah sehat), serta perilaku hidup bersih dan sehat (PHBS). Pada tahun 2022, Kota Bandung mencatat angka kejadian DBD yang cukup tinggi dan tersebar di seluruh wilayah kota, sehingga diperlukan pendekatan analisis spasial untuk memetakan pola risiko dan mendukung pengambilan kebijakan yang berbasis wilayah.

Penelitian ini bertujuan untuk menduga risiko relatif DBD di tingkat kecamatan dengan menggunakan pendekatan pemodelan spasial Bayesian. Model yang digunakan adalah *Besag-York-Mollie conditional autoregressive* (CAR BYM) menggabungkan efek acak spasial terstruktur dan efek acak independen, serta model CAR Leroux yang hanya mempertimbangkan satu set efek acak. Proses pendugaan dilakukan melalui pendekatan *Markov Chain Monte Carlo* (MCMC) dengan algoritma *Gibbs Sampling*. Selain itu, penelitian ini juga mengeksplorasi pengaruh pemilihan nilai *hyperprior* terhadap hasil model dengan membandingkan lima skenario distribusi prior *Inverse-Gamma*.

Evaluasi performa model dilakukan menggunakan empat kriteria utama, yaitu *Deviance Information Criterion* (DIC), *Widely Applicable Information Criterion* (WAIC), *Log Marginal Predictive Likelihood* (LMPL), dan *Mean Moran's I Residual* (MMI residual). Hasil analisis menunjukkan bahwa pemilihan *hyperprior* berpengaruh terhadap kualitas model. Model terbaik diperoleh pada spesifikasi *hyperprior* $\tau_u^2 \sim \text{Inverse} - \text{Gamma}(0,1; 0,1)$ dan $\tau_v^2 \sim \text{Inverse} - \text{Gamma}(1; 0,01)$, dengan nilai DIC dan WAIC yang paling rendah serta nilai LMPL tertinggi.

Pemetaan spasial terhadap nilai dugaan risiko relatif (*RR*) menunjukkan bahwa wilayah dengan risiko relatif tertinggi terdapat di Kecamatan Gedebage ($RR_{20}=1,83$), diikuti oleh Arcamanik ($RR_3=1,65$) dan Rancasari ($RR_{25}=1,62$). Ketiga kecamatan ini dapat dikategorikan sebagai wilayah prioritas untuk intervensi pencegahan DBD. Sebaliknya, nilai risiko relatif terendah ditemukan di Kecamatan Babakan Ciparay ($RR_5=0,40$) dan Bandung Kulon ($RR_7=0,42$), yang menandakan risiko relatif kejadian DBD di wilayah ini berada jauh di bawah rata-rata Kota Bandung. Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan pemodelan spasial CAR dapat menghasilkan pendugaan risiko relatif yang dapat mendukung penetapan kecamatan prioritas untuk kebijakan pengendalian DBD yang lebih terarah.

Kata kunci: Demam Berdarah Dengue, CAR BYM, CAR Leroux, *hyperprior*, risiko relatif



SUMMARY

ANANDA SHAFIRA. Bayesian Spatial CAR Modeling to Estimate the Relative Risk of DHF in Bandung City. Supervised by ASEP SAEFUDDIN and KUSMAN SADIK.

Dengue Hemorrhagic Fever (DHF) is an endemic disease whose transmission is influenced by spatial and environmental factors, including population density, altitude, household sanitation, and clean and healthy living behaviors. In 2022, the city of Bandung reported a high incidence of DHF cases, highlighting the need for spatial modeling to capture interdependencies among geographic regions. In 2022, Bandung City recorded a high incidence of DHF cases that were widely distributed across all sub-districts, highlighting the need for a spatial analysis approach to map risk patterns and support area-based policy decisions.

This study aims to estimate the relative risk of DHF at the sub-district level using a Bayesian spatial modeling approach. The models used include the Besag-York-Mollié Conditional Autoregressive (CAR BYM) model, which incorporates both structured spatial random effects and independent random effects, as well as the CAR Leroux model, which considers only one set effect. Parameter estimation was performed through the Markov Chain Monte Carlo (MCMC) method using the Gibbs Sampling algorithm. Furthermore, this study explores the impact of hyperprior specification by comparing five different prior distribution scenarios based on the Inverse-Gamma distribution.

Model performance was evaluated using four criteria: the Deviance Information Criterion (DIC), the Widely Applicable Information Criterion (WAIC), the Log Marginal Predictive Likelihood (LMPL), and the Mean Moran's I Residual (MMI residual). The results show that hyperprior selection affects model quality. The best-performing model was achieved with the hyperprior specification of $\tau_u^2 \sim \text{Inverse} - \text{Gamma}(0,1; 0,1)$ and $\tau_v^2 \sim \text{Inverse} - \text{Gamma}(1; 0,01)$, yielding the lowest DIC and WAIC values and the highest LMPL.

Spatial mapping of the estimated relative risk (RR) revealed that the highest-risk areas were Gedebage ($RR_{20} = 1.83$), followed by Arcamanik ($RR_3 = 1.65$) and Rancasari ($RR_{25} = 1.62$). These sub-districts are identified as priority areas for DHF prevention interventions. In contrast, the lowest estimated risks were found in Babakan Ciparay ($RR_5 = 0.40$) and Bandung Kulon ($RR_7 = 0.42$), indicating that these areas had significantly lower relative risk compared to the city average. The results indicate that CAR spatial modeling approach can produce relative risk estimates that can support the determination of priority sub-districts in determining priority areas for DHF control.

Keywords: Dengue Hemorrhagic Fever, CAR BYM, CAR Leroux, hyperprior, relative risk



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



PEMODELAN BAYESIAN SPASIAL CAR DALAM MENDUGA RISIKO RELATIF DBD DI KOTA BANDUNG

ANANDA SHAFIRA

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains pada
Program Studi Statistika dan Sains Data

**PROGRAM STUDI MAGISTER STATISTIKA DAN SAINS DATA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

1. Prof. Dr. Anang Kurnia, S.Si., M.Si.



Judul Tesis : Pemodelan Bayesian Spasial CAR dalam Menduga Risiko Relatif
DBD di Kota Bandung
Nama : Ananda Shafira
NIM : G1501211012

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Ir. Asep Saefuddin, M.Sc.

Pembimbing 2:

Dr. Kusman Sadik, S.Si., M.Si.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Dr. Agus Mohamad Soleh, S.Si., M.T.

NIP 197503151999031004

Dekan Sekolah Sains Data, Matematika, dan Informatika:

Prof. Dr. Ir. Agus Bueno, M.Si., M.Kom.

NIP 196607021993021001

Tanggal Ujian: 14 Agustus 2025

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ialah pemodelan untuk prediksi tingkat risiko relatif, dengan judul “Pemodelan Bayesian Spasial CAR dalam Menduga Risiko Relatif DBD di Kota Bandung”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Ir. Asep Saefuddin, M.Sc. dan Dr. Kusman Sadik, S.Si., M.Si. yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing. Di samping itu, ucapan terima kasih juga kepada seluruh staf pengajar Program Studi Statistika dan Sains Data yang telah memberikan ilmu dan pengajaran selama perkuliahan sampai dengan penyusunan karya ilmiah ini dan kepada teman-teman Statistika dan Sains Data 2021 atas bantuan dan kebersamaannya. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, kakak, adil serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2025

Ananda Shafira



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	ix
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Indeks Moran	4
2.2 <i>Standardized Incidence Ratio (SIR)</i>	4
2.3 Inferensi Bayesian	5
2.4 Model Hierarkis Bayesian	6
2.5 <i>Bayesian Conditional Autoregressive</i>	6
2.6 <i>Metode Markov Chain Monte Carlo</i>	9
2.7 Ukuran Kecocokan Model	10
III METODE	13
3.1 Data	13
3.2 Tahapan Penelitian	14
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1 Deskripsi Data	18
4.2 Eksplorasi Data	21
4.3 Perbandingan Model	23
V SIMPULAN DAN SARAN	31
5.1 Simpulan	31
5.2 Saran	31
DAFTAR PUSTAKA	32
LAMPIRAN	35
RIWAYAT HIDUP	46

DAFTAR TABEL

1	Klasifikasi Tingkat Risiko Relatif	5
2	Peubah respon dan peubah penjelas	13
3	Ringkasan Statistik	18
4	Nilai korelasi pearson antara peubah dan <i>incidence rate</i> DBD	22
5	Nilai VIF tiap peubah	22
6	Nilai Indeks Moran	23
7	Hasil uji Geweke untuk parameter model	24
8	Perbandingan nilai DIC, WAIC, LMPL, dan MMI residual	25
9	Nilai dugaan parameter model CAR BYM	28
10	Banyaknya Kasus DBD dan RR untuk setiap kecamatan tahun 2022 menggunakan model terbaik	29

DAFTAR GAMBAR

1	Skema Tahapan Penelitian	17
2	Peta banyaknya kasus DBD di Kota Bandung tahun 2022	19
3	Peta (a) kepadatan penduduk (b) ketinggian wilayah (c) persentase rumah ber-PHBS (d) persentase rumah sehat di Kota Bandung tahun 2022	20
4	<i>Trace plot</i> dan <i>density plot</i> dari nilai β_0 , β_1 , β_2 , β_3 , dan β_4	26
5	<i>Trace plot</i> dan <i>density plot</i> dari nilai ψ_1	26
6	<i>Trace plot</i> dan <i>density plot</i> dari nilai τ_{u2} dan τ_{v2}	27
7	Peta (a) risiko relatif penyakit DBD (b) persentase rumah sehat di Kota Bandung tahun 2022	30

DAFTAR LAMPIRAN

1	Data peubah respon dan peubah penjelas per kecamatan di Kota Bandung tahun 2022	36
2	Hubungan <i>incidence rate</i> DBD terhadap (a) kepadatan penduduk (b) ketinggian wilayah (c) persentase rumah ber-PHBS (d) persentase rumah sehat di Kota Bandung tahun 2022	37
3	<i>Trace plot</i> dan <i>density plot</i> dari nilai ψ_2 s/d ψ_{30}	37
4	Nilai dugaan parameter model GLM (M1)	41
5	Nilai dugaan parameter model CAR BYM (M2)	41
6	Nilai dugaan parameter model CAR BYM (M3)	41
7	Nilai dugaan parameter model CAR BYM (M5)	41
8	Nilai dugaan parameter model CAR BYM (M6)	42
9	Nilai dugaan parameter model CAR BYM (M7)	42



10	Nilai dugaan parameter model CAR BYM (M8)	42
11	Nilai dugaan parameter model CAR BYM (M9)	42
12	Nilai dugaan parameter model CAR BYM (M10)	42
13	Nilai dugaan parameter model CAR Leroux (M11)	43
14	Nilai dugaan parameter model CAR Leroux (M12)	43
15	Nilai dugaan parameter model CAR Leroux (M13)	43
16	Nilai dugaan parameter model CAR Leroux (M14)	43
17	Nilai dugaan parameter model CAR Leroux (M15)	43
18	Komponen acak pada model CAR BYM dan CAR Leroux	44

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.