

PEMODELAN *SPATIO-TEMPORAL* BAYESIAN MENGGUNAKAN BYM-2 BERBASIS INLA PADA PENDUGAAN RISIKO RELATIF MALARIA DI WILAYAH PAPUA

MUHAMMAD JODI AT-TAKBIR



PROGRAM STUDI SARJANA STATISTIKA DAN SAINS DATA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

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.

Perpustakaan IPB University



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Pemodelan *Spatio-Temporal* Bayesian Menggunakan BYM-2 Berbasis INLA pada Pendugaan Risiko Relatif Malaria di Wilayah Papua” 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 skripsi ini.

Dalam penulisan karya ini, penulis menggunakan bantuan kecerdasan buatan ChatGPT untuk menyusun beberapa kalimat agar lebih mudah dipahami. Setelah menggunakan alat/layanan tersebut, penulis meninjau dan menyunting konten sesuai kebutuhan serta bertanggung jawab penuh atas isi karya tugas akhir ini.

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

Bogor, Agustus 2026

Muhammad Jodi At-Takbir
G1401221024



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

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.

Perpustakaan IPB University

ABSTRAK

MUHAMMAD JODI AT-TAKBIR. Pemodelan *Spatio-Temporal* Bayesian Menggunakan BYM-2 Berbasis INLA pada Pendugaan Risiko Relatif Malaria di Wilayah Papua. Dibimbing oleh KUSMAN SADIK dan LA ODE ABDUL RAHMAN.

Malaria masih menjadi salah satu masalah kesehatan masyarakat utama di Indonesia, dengan sekitar 90–95% kasus nasional terjadi di wilayah Papua. Penularan malaria dipengaruhi oleh kondisi iklim dan lingkungan serta adanya keterkaitan antarwilayah dan antarwaktu, sehingga diperlukan pendekatan pemodelan yang mampu mengakomodasi ketergantungan spasial dan temporal tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menduga risiko relatif malaria di wilayah Papua menggunakan model Bayesian Besag–York–Mollié 2 (BYM-2) dengan pendekatan *integrated nested Laplace approximation* (INLA). Data yang digunakan berupa jumlah kasus malaria tahunan pada 42 kabupaten/kota selama periode 2021–2024, beserta peubah iklim dan lingkungan yang meliputi curah hujan, kecepatan angin, kelembapan relatif, *normalized difference vegetation index* (NDVI), dan elevasi. Struktur ketetanggaan spasial dibangun menggunakan pendekatan *hybrid* yang menggabungkan *queen contiguity* dan *k-nearest neighbors* ($k = 2$). Model terbaik dipilih melalui perbandingan beberapa kombinasi *hyperprior* menggunakan kriteria *deviance information criterion* (DIC), Watanabe–Akaike *information criterion* (WAIC), dan *log pseudo marginal likelihood* (LPML). Model terbaik diperoleh dengan kombinasi *hyperprior* $\tau \sim \text{PC}(2; 0,05)$ dan $\phi \sim \text{PC}(0,1; 0,1)$. Nilai risiko relatif yang dihasilkan memiliki kesesuaian yang baik dengan *standardized incidence ratio* (SIR), sehingga menunjukkan bahwa model mampu menggambarkan pola risiko malaria dengan baik. Elevasi merupakan satu-satunya peubah lingkungan yang memiliki hubungan secara signifikan terhadap risiko malaria, sementara keragaman spasial dan temporal yang cukup besar masih tetap ditemukan setelah memperhitungkan seluruh peubah yang diamati. Wilayah dengan risiko relatif malaria tertinggi terkonsentrasi di bagian utara dan selatan wilayah Papua, sehingga perlu menjadi prioritas dalam kegiatan surveilans dan pengendalian malaria secara lebih terarah.

Kata kunci: BYM-2, *integrated nested Laplace approximation*, malaria, papua, risiko relatif.



@Hak cipta milik IPB University

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.



ABSTRACT

MUHAMMAD JODI AT-TAKBIR. Bayesian Spatio-Temporal Modeling Using the BYM-2 Model with INLA for Estimating Malaria Relative Risk in the Papua Region. Supervised by KUSMAN SADIK and LA ODE ABDUL RAHMAN.

Malaria remains a major public health challenge in Indonesia, with approximately 90–95% of the country's reported cases occurring on Papua region. Malaria transmission is influenced by climatic and environmental conditions, as well as spatial and temporal dependencies, highlighting the need for a modeling approach that can account for these complexities. This study aimed to estimate the relative risk of malaria on Papua Island using the Bayesian Besag–York–Mollié 2 (BYM-2) model implemented through the integrated nested Laplace approximation (INLA) approach. The analysis was based on annual malaria case data from 42 districts/cities during 2021–2024, along with climatic and environmental covariates, including rainfall, wind speed, relative humidity, the normalized difference vegetation index (NDVI), and elevation. The spatial neighborhood structure was defined using a hybrid approach that combined queen contiguity and k-nearest neighbors ($k = 2$). The optimal model was selected by comparing several hyperprior combinations using the deviance information criterion (DIC), Watanabe–Akaike information criterion (WAIC), and log pseudo marginal likelihood (LPML). The best-performing model employed the hyperprior combination $\tau \sim \text{PC}(2; 0,05)$ and $\phi \sim \text{PC}(0,1; 0,1)$. The estimated relative risks showed good agreement with the standardized incidence ratio (SIR), indicating that the model adequately captured the spatial pattern of malaria risk. Elevation was the only environmental variable significantly associated with malaria risk, while substantial spatial and temporal variation remained after accounting for all observed covariates. Areas with the highest relative risk were concentrated in the northern and southern parts of Papua Island, suggesting that these regions should be prioritized for targeted malaria surveillance and control efforts.

Keywords: BYM-2, integrated nested Laplace approximation, malaria, papua, relative risk.



@Hak cipta milik IPB University

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.



PEMODELAN *SPATIO-TEMPORAL* BAYESIAN MENGGUNAKAN BYM-2 BERBASIS INLA PADA PENDUGAAN RISIKO RELATIF MALARIA DI WILAYAH PAPUA

MUHAMMAD JODI AT-TAKBIR

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Statistika dan Sains Data

**PROGRAM STUDI SARJANA STATISTIKA DAN SAINS DATA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:
1 Ir. Aam Alamudi, M.Si.



IPB University
— Bogor Indonesia —

- 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.

Perpustakaan IPB University



Judul Skripsi : *Pemodelan Spatio-Temporal* Bayesian Menggunakan BYM-2 Berbasis INLA pada Pendugaan Risiko Relatif Malaria di Wilayah Papua

Nama : Muhammad Jodi At-Takbir

NIM : G1401221024

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

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

Pembimbing 2:

La Ode Abdul Rahman, S.Si. M.Si

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Dr. Bagus Sartono, M.Si.

NIP 197804112005011002

Tanggal Ujian:

4 Agustus 2026

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 yang dilaksanakan sejak bulan Januari 2026 sampai bulan Juli 2026 ini ialah pemodelan spasial Bayesian, dengan judul “Pemodelan *Spatio-Temporal* Bayesian Menggunakan BYM-2 Berbasis INLA pada Pendugaan Risiko Relatif Malaria di Wilayah Papua”.

Penulisan karya ilmiah ini tentunya tidak lepas dari dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Papih, Mamih, Kakak, dan Adik selaku keluarga terdekat yang selalu mendukung, membimbing, dan mendoakan penulis selama proses perkuliahan hingga mencapai tahap akhir penyusunan tugas akhir.
2. Dr. Kusman Sadik, S.Si., M.Si., Bapak La Ode Abdul Rahman S.Si., M.Si., dan Bapak Ir. Aam Alamudi, M.Si., selaku dosen pembimbing dan penguji tugas akhir yang mengarahkan dan membimbing penuh terhadap proses penyusunan tugas akhir penulis.
3. Seluruh dosen dan tenaga pendidik pada Program Studi Statistika dan Sains Data yang senantiasa membantu, memberikan ilmu, membersamai penulis dalam proses perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir.
4. Fadlan, Ela, Dipa sebagai sahabat terdekat selama proses perkuliahan yang tanpa lelah membantu dan mendukung penulis dari tahun pertama hingga penyusunan tugas akhir.
5. Ghoni, Bintang, Oci, Sintong, Nanda, Ria, Eliza, Adit, Rizam, Sandra, Nabiil, Faruq, dan Dinda sebagai teman dekat yang membersamai penulis dalam proses perkuliahan, terutama dalam proses pembelajaran mata kuliah maupun proses penyusunan tugas akhir, serta memberikan semangat dalam menyelesaikannya.
6. Anak Pa Arif (Fadlan, Ela, Dipa, Eliza, Ail, Wyta, Cahya, Fio, Lidya) sebagai teman dekat tahun pertama yang menemani penulis dalam proses akademik sekaligus sebagai wadah melepas penat dalam menjalani proses perkuliahan.
7. BBTC (Farrell, Raihan, Fauzi) sebagai sahabat terbaik penulis yang selalu membantu, menyemangati, dan menjadi tempat diskusi berbagai hal selama proses perkuliahan penulis berlangsung.
8. Cupapi Munyenyoy (Ali, Ghiffari, Bryan, Dafa, Andin, Piah) teman seperjuangan dari SMA yang selalu menyemangati penulis.
9. Marinestic 59 sebagai keluarga seperjuangan yang telah membersamai penulis selama 3 tahun dalam menjalani proses perkuliahan.

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

Bogor, Agustus 2026

Muhammad Jodi At-Takbir



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Teori Risiko Relatif Malaria	3
2.2 Besag-York-Mollié 2	4
2.3 <i>Integrated Nested Laplace Approximation</i>	7
2.4 Metrik Evaluasi Model	9
III METODE	13
3.1 Data	13
3.2 Prosedur Analisis Data	14
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Eksplorasi Data	19
4.2 Pemeriksaan Multikolinearitas	24
4.3 Pembentukan Matriks Pembobot dan Uji Autokorelasi Spasial	25
4.4 Pemeriksaan Overdispersi	26
4.5 Pemodelan <i>Spatio-Temporal</i> Menggunakan BYM-2	27
4.6 Pendugaan Risiko Relatif Malaria Menggunakan Model Terbaik	34
V SIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Simpulan	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	47
RIWAYAT HIDUP	51