

ANALISIS PENYEBARAN KASUS MALARIA DI PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR MENGUNAKAN SIR DAN MODEL BYM2

ANALYSIS OF MALARIA CASES SPREAD IN EAST NUSA TENGGARA PROVINCE USING SIR AND BYM2 MODEL

Bagus Kusuma^{1§}, Elza Uly Tiara Tampubolon², Aisyah Affandi³

¹ Program Studi Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Pertahanan [baguskusuma089@gmail.com]

² Program Studi Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Pertahanan [elzaullytiaratampubolon089@gmail.com]

³ Program Studi Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Pertahanan [aaisyah08112004@gmail.com]

[§]*Corresponding Author*

Received 22nd Sep 2025; Accepted 08th Dec 2025; Published 09th Dec 2025;

Abstrak

Malaria merupakan penyakit menular yang masih menjadi masalah kesehatan masyarakat di Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT). Fluktuasi jumlah kasus serta ketimpangan penyebaran antarwilayah menunjukkan bahwa malaria di NTT tidak hanya bernilai tinggi, tetapi juga memiliki pola risiko yang tidak seragam. Kondisi ini menegaskan perlunya analisis berbasis spasial yang mampu mengidentifikasi wilayah prioritas dan faktor risiko yang berperan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola penyebaran malaria secara spasial menggunakan metode *Standardized Incidence Ratio* (SIR) dan model *Besag-York-Mollié 2* (BYM2). Data sekunder diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi NTT tahun 2023, mencakup 22 kabupaten/kota. Variabel independen yang digunakan meliputi kepadatan penduduk, tingkat kemiskinan, tingkat pengangguran, rata-rata lama sekolah, sanitasi air bersih, tempat pembuangan akhir (TPA), dan indeks pembangunan manusia (IPM). Hasil analisis menunjukkan bahwa wilayah dengan risiko tinggi penyebaran malaria berdasarkan SIR adalah Sumba Timur (SIR = 18,7) dan Sumba Barat Daya (SIR = 11,5). Model BYM2 mengonfirmasi bahwa kemiskinan dan keberadaan TPA memiliki pengaruh signifikan terhadap penyebaran malaria, sementara variabel lain tidak menunjukkan pengaruh yang berarti. Temuan ini menegaskan pentingnya intervensi kebijakan yang berfokus pada pengurangan kemiskinan dan peningkatan pengelolaan lingkungan untuk mengendalikan malaria di NTT.

Kata Kunci: *malaria, Standardized Incidence Ratio, model BYM2, spasial, Nusa Tenggara Timur.*

Abstract

Malaria is an infectious disease that remains a public health problem in East Nusa Tenggara Province (NTT). Fluctuations in the number of cases and disparities in distribution between regions indicate that malaria in NTT is not only prevalent, but also has an uneven risk pattern. This condition emphasizes the need for spatial-based analysis that can identify priority areas and contributing risk factors. This study aims to analyze the spatial pattern of malaria distribution using the Standardized Incidence Ratio (SIR)

method and the Besag-York-Mollié 2 (BYM2) model. Secondary data were obtained from the Central Statistics Agency (BPS) of NTT Province in 2023, covering 22 districts/cities. The independent variables used include population density, poverty rate, unemployment rate, average length of schooling, clean water sanitation, final disposal sites (TPA), and human development index (HDI). The analysis results show that the areas with a high risk of malaria transmission based on SIR are East Sumba (SIR = 18.7) and Southwest Sumba (SIR = 11.5). The BYM2 model confirms that poverty and the existence of landfills have a significant effect on malaria transmission, while other variables do not show a significant effect. These findings emphasize the importance of policy interventions focused on poverty reduction and improved environmental management to control malaria in NTT.

Keywords malaria, Standardized Incidence Ratio, BYM2 model, spatial, East Nusa Tenggara.

1. Pendahuluan

Malaria merupakan penyakit yang disebabkan oleh parasit *Plasmodium* yang ditularkan melalui gigitan nyamuk malaria betina dari genus *Anopheles* [1]. Pada penyakit malaria, terdapat fase di mana *Plasmodium* mengalami peningkatan replikasi dalam sel darah merah. Proses ini memperburuk kondisi tubuh penderita dan dapat menyebabkan komplikasi serius yang berujung pada kematian [2].

Kasus Malaria di NTT merupakan kasus tertinggi kedua di Indonesia setelah Papua. Kasus malaria di NTT pada tahun 2020 sebesar 15.314. Pada tahun 2021, kasus kemudian menurun menjadi 9.419 kasus. Di tahun 2022 jumlah kasus malaria di NTT kembali mengalami peningkatan dengan jumlah kasus sebesar 15.812 kasus. Pada tahun 2023, Provinsi NTT berada pada posisi ketujuh terbanyak di Indonesia dengan total sebanyak 6.931 kasus [3]. Kondisi ini menunjukkan bahwa malaria masih menjadi ancaman utama yang memerlukan langkah strategis lebih intensif [4]. Fluktuasi kasus dari tahun ke tahun serta ketimpangan jumlah kejadian antarwilayah mengindikasikan bahwa pola penyebaran malaria di NTT tidak bersifat seragam. Heterogenitas kondisi demografis, sosial-ekonomi, dan lingkungan, yang tercermin dari perbedaan kepadatan penduduk, tingkat kemiskinan, pengangguran, pendidikan, sanitasi, pengelolaan limbah, dan IPM, mengakibatkan setiap wilayah memiliki tingkat risiko malaria yang berbeda. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan analisis yang mampu menormalkan

perbedaan tersebut dan sekaligus mendeteksi variasi spasial dalam penyebaran penyakit.

Salah satu pendekatan yang dilakukan untuk mengatasi kasus malaria adalah melalui kampanye edukasi untuk meningkatkan kesadaran pencegahan malaria [5]. Namun masih diperlukan cara lain yang menjadi alternatif pengendalian penyakit malaria. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan analisis untuk memahami pola penyebaran risiko penyakit malaria secara spasial [6]. Salah satu metode yang efektif adalah pemetaan kasus malaria dengan pendekatan *Standardized Incidence Ratio* (SIR) dan model *Besag York Mollié 2* (BYM2). SIR adalah ukuran statistik yang menggambarkan risiko relatif suatu penyakit di suatu lokasi tertentu berdasarkan standar populasi [7]. Sedangkan BYM2 model adalah metode statistika berbasis Bayesian yang mengatasi masalah pada model BYM. Dalam model ini, variabel respon dinyatakan sebagai distribusi Poisson, di mana logaritma dari rata-rata dihitung berdasarkan kombinasi variabel prediktor dan efek acak spasial. [8].

Penelitian-penelitian sebelumnya banyak menghasilkan peta penyebaran penyakit malaria dengan berbagai macam metode, diantaranya menggunakan rancangan unmatched case control dengan objek penelitian di Kabupaten Sumba Barat [9], metode *Spatial Multicriteria Analysis* dengan objek penelitian di Perbukitan Menoreh [10], Metode *Ordinary Least Square* dengan objek penelitian di Kabupaten Kulon Progo [11], hingga

dengan menggunakan pengaruh vector dengan objek penelitian di Puskesmas Taurus Kupang [12]. Berbagai penelitian tersebut telah mampu menggambarkan distribusi kasus dan mengidentifikasi faktor yang berkontribusi terhadap penyebaran malaria antarwilayah. Namun, hingga saat ini belum terdapat penelitian yang secara khusus memetakan risiko malaria di NTT dengan mengintegrasikan pendekatan SIR dan model BYM2 [13]. Metode SIR dipilih karena mampu menormalkan perbedaan karakteristik antarwilayah sehingga risiko malaria dapat dibandingkan secara objektif. Sementara itu, BYM2 digunakan karena dapat menangkap pengaruh spasial dan variasi risiko yang tidak dapat dijelaskan oleh variabel-variabel dalam model. Integrasi kedua metode ini memberikan hasil pemetaan yang lebih akurat dan komprehensif.

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan risiko penyakit malaria di NTT dengan menggunakan metode spasial SIR dan model BYM2. Hasil pemetaan ini dapat mengidentifikasi wilayah-wilayah dengan risiko tinggi terhadap malaria, yang selanjutnya dapat menjadi referensi bagi pemerintah dan tenaga kesehatan dalam merancang strategi yang lebih terarah untuk pencegahan serta pengelolaan penyakit malaria di NTT serta menjadi referensi pembelajaran terkait dengan pemodelan penyakit. Penelitian ini menyajikan penerapan model BYM2 dengan mengintegrasikan metode SIR, di mana output yang dihasilkan berupa risiko relatif penyebaran malaria di setiap kabupaten dan kota di NTT.

2. Metode Penelitian

2.1 Sumber Data

Pada penelitian ini, data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) tahun 2023. Data tersebut bersumber dari publikasi resmi BPS melalui tautan berikut <https://ntt.bps.go.id/id> serta buku laporan statistik terkait. Penelitian ini menggunakan jumlah sampel sebanyak 22 Kabupaten/Kota yang

ada di Provinsi Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT). Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan	Satuan	Sumber
Y	Kasus Malaria	Jumlah	BPS
X_1	Kepadatan Penduduk	Jumlah	BPS
X_2	Penduduk Miskin	Jumlah	BPS
X_3	Tingkat Pengangguran Terbuka	Persen	BPS
X_4	Rata-Rata Lama Sekolah	Jumlah	BPS
X_5	Sanitasi Air Bersih	Persen	BPS
X_6	Pembuangan Akhir	Persen	BPS
X_7	Indeks Pembangunan Manusia	Persen	BPS

2.2 Standardized incidence ratio (SIR)

SIR merupakan rasio sederhana antara angka kejadian suatu penyakit di lokasi ke- i dengan nilai harapan terjadinya penyakit pada lokasi tersebut ($i = 1, 2, \dots, j$). SIR biasanya digunakan untuk menghitung risiko suatu penyakit tertentu. Inferensi statistik untuk SIR biasanya berdasarkan asumsi bahwa penyebutnya tetap dan pembilangnya berdistribusi Poisson [14]. Variabel jumlah kasus malaria dalam penelitian ini berupa variabel diskrit yang mengikuti distribusi Poisson dengan parameter λ_i [15]:

$$\lambda_i = E_i \theta_i \quad (1)$$

$$y_i \sim \text{Poisson}(E_i \theta_i)$$

$$p(y_i | E_i \theta_i) = \frac{\exp(-E_i \theta_i) (E_i \theta_i)^{y_i}}{y_i!} \quad (2)$$

Nilai SIR dapat ditentukan dengan persamaan berikut [16]:

$$SIR_i = \frac{y_i}{E_i} \quad (3)$$

Dimana:

$$E_i = N_i \times \frac{\sum_i^n y_i}{\sum_i^n N_i} \quad (4)$$

SIR_i = standardized incidence ratio wilayah ke- i

y_i = Jumlah kasus penyakit di wilayah ke- i yang diamati

E_i = Jumlah kasus penyakit di wilayah ke- i yang diharapkan ($i = 1, \dots, j$)

N_i = Jumlah populasi yang berisiko di wilayah ke- i

Nilai SIR dapat berfungsi sebagai indikasi awal untuk menentukan risiko penyakit di wilayah geografis tertentu. Metode SIR menunjukkan apakah suatu wilayah memiliki risiko lebih tinggi ($SIR > 1$), sama ($SIR = 1$), atau lebih rendah ($SIR < 1$) dibandingkan dengan yang diharapkan berdasarkan populasi standar [16].

2.3 Besag-York Mollié Dua (BYM2)

Model CAR BYM merupakan model dengan dua komponen yaitu spasial terstruktur u_i dengan menggunakan prior CAR dan spasial tidak terstruktur v_i dengan menggunakan prior normal yang dituliskan sebagai berikut [17]:

Model CAR BYM merupakan model dengan dua komponen yaitu spasial terstruktur u_i dengan menggunakan prior CAR dan spasial tidak terstruktur v_i dengan menggunakan prior normal yang dituliskan sebagai berikut [17]:

$$y_i \sim \text{Poisson}(E_i \theta_i) \\ \log(\theta_i) = \alpha + u_i + v_i \quad (5)$$

u_i dengan prior CAR dituliskan sebagai berikut:

$$u_i | u_j, i \neq j, \tau_\omega^2 \sim N \left(\frac{\sum_{j=1}^i u_j \omega_{ij}}{\sum_j \omega_{ij}}, \frac{\tau_\omega^2}{\sum_j \omega_{ij}} \right) \quad (6)$$

y_i adalah kasus malaria pada kabupaten/kota $i = 1, 2, \dots, 22$. θ_i adalah risiko relatif, α adalah keseluruhan risiko relatif, E_i adalah nilai ekspektasi banyaknya kasus Malaria pada kabupaten/kota ke $i = 1, 2, \dots, 22$ yang didefinisikan sebagai berikut:

$$E_i = \frac{\sum_i^n y_i}{\sum_i^n N_i} n_i \quad (7)$$

Dimana n_i merupakan banyaknya penduduk pada

wilayah i .

Model BYM Dua, merupakan modifikasi dari model *Besag, York, dan Mollie* (BYM) untuk mengatasi masalah identifikasi dan penskalaan. Modifikasi ini memperkenalkan parameterisasi baru dengan dua komponen utama: efek independent dan efek terstruktur berskala. Efek acak dalam model ini dirumsukan sebagai berikut:

$$b = \frac{1}{\sqrt{\tau_b}} (\sqrt{1 - \phi} V + \sqrt{\phi} u_*) \quad (8)$$

Dimana v mereprestasikan efek independent, sedangkan u_* adalah komponen terstruktur berskala yang dihitung berdasarkan matriks presisi Q_* . Parameter $\phi \in [0, 1]$ menentukan proporsi varians antara efek independent ($\phi = 0$) dan terstruktur ($\phi = 1$) matriks kovarians untuk efek acak diberikan oleh:

$$\text{Var}(b | \tau_b, \phi) = \frac{1}{\tau_b} ((1 - \phi)I + \phi Q_*) \quad (9)$$

Dimana τ_b adalah parameter skala yang mengatur besarnya varians total. Parameterisasi baru ini lebih intuitif dan stabil dibanding parameterisasi lama.

2.4 Prosedur Analisis

Data yang digunakan pada penelitian ini diolah dengan menggunakan software R-Studio dan Langkah-langkah analisis dilakukan sebagai berikut:

1. Mendeskripsikan variabel respon (variabel dependen) dan variabel prediktor (variabel independen) yang digunakan dalam penelitian.
2. Menghitung nilai *Expected Rate* atau nilai harapan jumlah kasus malaria terjadi di masing masing wilayah pengamatan
3. Menghitung dan Menyajikan hasil perhitungan risiko relatif menggunakan peta spasial berbasis metode SIR untuk menggambarkan distribusi risiko malaria di wilayah pengamatan.
4. Uji Signifikansi dengan menggunakan metode BYM2 model

- 5. Menginterpretasikan koefisien dari masing-masing variabel
- 6. Menghitung dan menyajikan nilai risiko relatif (RR) dnegan model BYM2.
- 7. Menarik kesimpulan terkait pola distribusi risiko malaria dan faktor-faktor yang memengaruhinya berdasarkan kedua metode analisis tersebut.

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Analisis Deskriptif

Gambaran umum mengenai Penyebaran Kasus Malaria di Provinsi Nusa Tenggara Timur Tahun 2023 disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. statistik deskriptif Pemetaan Kasus Malaria

Descriptive Statistics				
	Minimum	Maximum	Mean	Variance
Kasus	2.00	2393.00	316.6364	442406.338
Penduduk	37.00	2929.00	263.7727	357801.327
kemiskinan	18.57	119.51	51.8691	734.412
Pengangguran	1.63	5.69	3.1605	1.206
Pendidikan	6.38	11.62	7.7964	1.098
Sanitasi	48.22	93.03	74.7755	179.344
TPA	27.08	94.53	69.0568	419.116
IPM	61.37	82.77	67.8577	17.706

Penyebaran malaria di wilayah yang diteliti menunjukkan variasi yang signifikan, dengan jumlah kasus berkisar antara 2 hingga 2.393 kasus, rata-rata 316,64 kasus, dan varians 442.406,34. Hal ini mencerminkan distribusi yang tidak merata antar wilayah. Kepadatan penduduk juga bervariasi, dengan nilai minimum 37 jiwa/km², maksimum 2.929 jiwa/km², rata-rata 263,77 jiwa/km², dan varians 357.801,33, yang menunjukkan bahwa wilayah dengan kepadatan penduduk tinggi memiliki risiko lebih besar

Faktor sosial-ekonomi turut berperan dalam penyebaran malaria. Tingkat kemiskinan rata-rata di wilayah ini adalah 51,8691 ribu jiwa, dengan varians 734,412, dan rentang nilai antara 18,57 ribu jiwa hingga 119,51 ribu jiwa. Tingkat

pengangguran menunjukkan homogenitas relatif, dengan rata-rata 3,1605% dan varians 1,206. Sementara itu, rata-rata tingkat pendidikan adalah 7,7964 tahun dengan varians rendah 1,098, yang menunjukkan akses pendidikan yang cukup merata, meskipun tingkat pendidikan yang relatif rendah dapat mempengaruhi kesadaran masyarakat dalam pencegahan malaria.

Aspek lingkungan dan infrastruktur, seperti sanitasi, pengelolaan limbah, dan Indeks Pembangunan Manusia (IPM), berpengaruh dalam penyebaran malaria. Cakupan sanitasi rata-rata 74,7755%, dengan rentang antara 48,22% hingga 93,03%, dan varians 179,344. Pengelolaan limbah TPA memiliki cakupan rata-rata 69,0568%, dengan nilai minimum 27,08%, maksimum 94,53%, dan varians 419,116. Wilayah dengan cakupan sanitasi dan TPA rendah lebih rentan terhadap penyebaran malaria karena keberadaan genangan air yang mendukung habitat nyamuk. IPM rata-rata 67,8577, dengan rentang antara 61,37 hingga 82,77, serta varians 17,706. Variasi ini menunjukkan kualitas hidup yang berbeda antar wilayah, di mana daerah dengan IPM rendah cenderung menghadapi tantangan lebih besar dalam penanggulangan malaria.

Peta banyaknya kasus Malaria di setiap kabupaten/Kota Provinsi Nusa Tenggara Timur tahun 2023 dapat dilihat pada gambar 1.



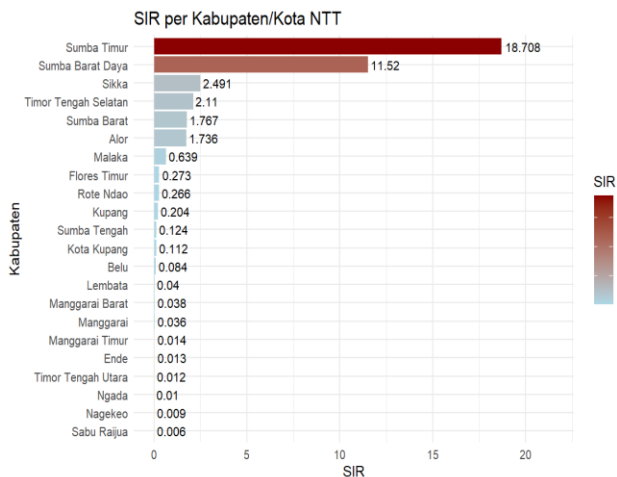
Gambar 1. Peta sebaran kasus Malaria setiap Kabupaten/Kota Nusa Tenggara Timur

Total kasus Malaria di Provinsi Nusa Tenggara Timur pada tahun 2023 adalah 6.966 kasus malaria. Kota Sumba Barat Daya mencatatkan jumlah kasus tertinggi dengan 2.393 kasus, diikuti Sumba Timur dengan 2.184 kasus, dan Sumba Barat yang memiliki 712 kasus. Sedangkan Kota/Kabupaten Ngada memiliki jumlah 45 kasus,

diikuti oleh Nagekeo dan Sabu Raijua yang memiliki jumlah kasus terendah dengan keduanya berjumlah 2 kasus.

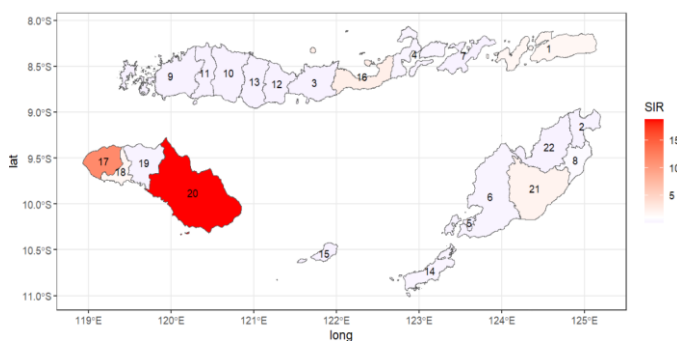
3.2 SIR Penyebaran Kasus Malaria di Provinsi Nusa Tenggara Timur

Grafik nilai SIR penyebaran Malaria di Provinsi Nusa Tenggara Timur ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Grafik nilai SIR pada penyebaran kasus Malaria di Provinsi Nusa Tenggara Timur

Pemetaan SIR pada penyebaran kasus Malaria di Provinsi Nusa Tenggara Timur ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pemetaan SIR pada penyebaran kasus Malaria di Provinsi Nusa Tenggara Timur

SIR (Standardized Incidence Ratio) adalah rasio yang membandingkan tingkat risiko penyakit di suatu wilayah dengan populasi secara keseluruhan. Wilayah dengan kejadian penyakit lebih tinggi dari yang diharapkan memiliki $SIR > 1$, sementara yang lebih rendah memiliki $SIR < 1$. Penggunaan SIR membantu peneliti dan pembuat kebijakan dalam merancang strategi pencegahan

dan pengendalian penyakit dengan memahami pola penyebaran penyakit di wilayah tersebut [16].

Pada Gambar 3, variasi penyebaran Kasus Malaria di Provinsi Nusa Tenggara Timur menunjukkan perbedaan signifikan. Beberapa Kota/Kabupaten memiliki nilai $SIR > 1$, dengan Kota Sumba Timur ($ID=20$) dan Sumba Barat Daya ($ID=17$) memiliki SIR sangat tinggi, masing-masing 18,7 dan 11,5. Wilayah lain dengan SIR di atas 1 adalah Sikka ($ID=16$) sebesar 2,4, Timor Tengah Selatan ($ID=21$) sebesar 2,1, Sumba Barat ($ID=18$) dan Alor ($ID=1$) yang keduanya memiliki nilai SIR 1,7. Sebaliknya, Ngada ($ID=13$), Nagekeo ($ID=12$), dan Sabu Raijua ($ID=15$) tercatat sebagai wilayah dengan SIR terendah, masing-masing 0,009, 0,009, dan 0,005.

Temuan ini menunjukkan perbedaan signifikan dalam penyebaran malaria di Nusa Tenggara Timur. Beberapa daerah, seperti Sumba Timur dan Sumba Barat Daya, memiliki angka SIR yang jauh lebih tinggi dari harapan, menandakan insiden malaria yang sangat tinggi dan memerlukan perhatian serius dalam pengendalian. Sementara itu, daerah seperti Ngada, Nagekeo, dan Sabu Raijua dengan SIR rendah menunjukkan bahwa upaya pengendalian penyakit di wilayah tersebut telah relatif efektif. Namun, kewaspadaan tetap diperlukan agar tidak terjadi lonjakan kasus yang signifikan di masa depan.

3.3 Uji Estimasi dan Signifikansi parameter dengan BYM2 model

Hasil estimasi parameter dan uji signifikansi menggunakan model BYM2, yang dibantu oleh perangkat lunak R-Studio, ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Estimasi Parameter dan Uji Signifikansi dengan BYM2 model

	mean	95% Interval Kredibilitas	Keputusan
(Intercept)	4.252	(-17.353, 25.927)	TIDAK SIGNIFIKAN

penduduk	0.001	(-0.0016, 0.004)	TIDAK SIGNIFIKAN
kemiskinan	0.044	(0.007, 0.081)	SIGNIFIKAN
pengangguran	0.357	(-0.760, 1.472)	TIDAK SIGNIFIKAN
pendidikan	-1.300	(-3.347, 0.743)	TIDAK SIGNIFIKAN
Sanitasi	-0.098	(-0.211, 0.014)	TIDAK SIGNIFIKAN
TPA	0.097	(0.035, 0.158)	SIGNIFIKAN
IPM	0.014	(-0.437, 0.466)	TIDAK SIGNIFIKAN

Dari Hasil estimasi Parameter Parameter Besag-York Mollié 2 (BYM2) model pada tabel 7. Diperoleh persamaan regresi sebagai berikut:

$$\mu = \exp(4.252 + 0.001X_1 + 0.044X_2 + 0.357X_3 - 1.3X_4 - 0.098X_5 + 0.097X_6 + 0.014X_7 + \frac{1}{\sqrt{\tau_b}}(\sqrt{1-\phi}v_* + \sqrt{\phi}u_*))$$

Berdasarkan Hasil pemodelan BYM2 menunjukkan bahwa hanya variabel Kemiskinan dan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang berpengaruh signifikan terhadap penyebaran kasus malaria di Provinsi Nusa Tenggara Timur. Pengaruh signifikan ini ditunjukkan melalui credible interval pada tingkat kepercayaan 95%, di mana variabel Jumlah Kemiskinan dan TPA tidak memiliki nilai 0 dalam rentang kuantil 0.025, 0.5, dan 0.975, yang menandakan adanya hubungan kuat dengan tingkat penyebaran malaria. Perubahan pada salah satu variabel tersebut akan berpengaruh terhadap peningkatan atau penurunan kasus malaria.

Sebaliknya, variabel lain seperti Tingkat Kepadatan Penduduk, Tingkat Pendidikan, Tingkat Pengangguran Terbuka, Tingkat Sanitasi Air, dan Indeks Pembangunan Manusia (IPM) tidak menunjukkan pengaruh signifikan karena memiliki nilai 0 dalam credible interval yang dianalisis. Dengan demikian, variabel-variabel tersebut tidak memiliki hubungan yang cukup kuat dalam memengaruhi penyebaran malaria di Provinsi Nusa Tenggara Timur.

Penelitian ini sejalan dengan studi Jean-Marie M. dkk (2022) yang menemukan bahwa keberadaan TPA di Butere, Bujumbura,

meningkatkan risiko malaria dengan odds ratio (OR) sebesar 11,8, menunjukkan individu di sekitar TPA lebih rentan dibanding mereka yang tinggal lebih jauh [18]. Faktor lingkungan yang mendukung perkembangbiakan nyamuk vektor malaria menjadi penyebab utama, sehingga strategi pengelolaan limbah dan pengendalian habitat nyamuk direkomendasikan sebagai langkah preventif.

Temuan ini juga didukung oleh penelitian Francesco Ricci (2012), yang menyoroti bahwa kemiskinan memperburuk risiko malaria karena masyarakat miskin cenderung tinggal di lingkungan yang mendukung nyamuk serta memiliki akses terbatas terhadap pencegahan dan layanan kesehatan [19]. Oleh karena itu, strategi pengendalian malaria yang efektif harus mencakup pengelolaan lingkungan, pengendalian vektor penyakit, dan pengentasan kemiskinan. Selain itu, hasil penelitian ini juga menegaskan pentingnya intervensi berbasis wilayah, khususnya di daerah dengan tingkat kemiskinan tinggi dan pengelolaan limbah yang kurang memadai, untuk menurunkan risiko malaria secara lebih efektif.

Selain itu, model BYM2 juga memasukkan komponen efek acak $\frac{1}{\sqrt{\tau_b}}(\sqrt{1-\phi}v_* + \sqrt{\phi}u_*)$ yang digunakan untuk menangkap variasi risiko malaria yang tidak dapat dijelaskan oleh variabel-variabel dalam model. Komponen ini menggambarkan pengaruh faktor lokal yang bersifat unik pada setiap wilayah serta pengaruh kedekatan antarwilayah yang menyebabkan daerah bertetangga cenderung memiliki tingkat risiko yang mirip. Dengan demikian, keberadaan efek acak ini menunjukkan bahwa penyebaran malaria tidak hanya dipengaruhi oleh faktor sosial, demografis, ekonomi, dan lingkungan, tetapi juga oleh karakteristik spasial yang melekat pada setiap wilayah. Hasil model turut mengonfirmasi bahwa faktor spasial berperan penting, sehingga pendekatan berbasis wilayah perlu menjadi bagian dari strategi pengendalian malaria di NTT.

3.4 Interpretasi Koefisien Variabel

Koefisien variabel prediktor memberikan gambaran mengenai arah dan besaran pengaruh masing-masing variabel terhadap penyebaran kasus malaria. Variabel kepadatan penduduk (X_1), jumlah penduduk miskin (X_2), tingkat pengangguran (X_3), dan keberadaan tempat pembuangan akhir (X_6) menunjukkan koefisien positif terhadap peningkatan risiko malaria. Berdasarkan transformasi eksponensial, peningkatan kepadatan penduduk berkaitan dengan kenaikan risiko sekitar **0,10%**, sementara peningkatan jumlah penduduk miskin sebesar 1.000 jiwa meningkatkan risiko malaria sekitar **4,50%**. Tingkat pengangguran menunjukkan kecenderungan peningkatan risiko sekitar **42,90%**, dan keberadaan TPA meningkatkan risiko sekitar **10,19%**.

Sebaliknya, tingkat pendidikan (X_4) dan sanitasi air bersih (X_5) memiliki koefisien negatif terhadap penyebaran malaria. Peningkatan satu tahun pendidikan berkaitan dengan penurunan risiko sekitar **72,75%**, sedangkan peningkatan sanitasi air bersih menurunkan risiko sekitar **9,34%**. Indeks Pembangunan Manusia (X_7) menunjukkan koefisien positif dengan peningkatan risiko sekitar **1,41%**.

Temuan ini menggarisbawahi pentingnya pendekatan multidimensional dalam pengendalian malaria, termasuk pengentasan kemiskinan, peningkatan lapangan kerja, serta perbaikan lingkungan dan sanitasi.

3.5 Peta Risiko Relatif Penyakit Malaria di Provinsi Nusa Tenggara Timur Besag-York Mollié 2 (BYM2) model

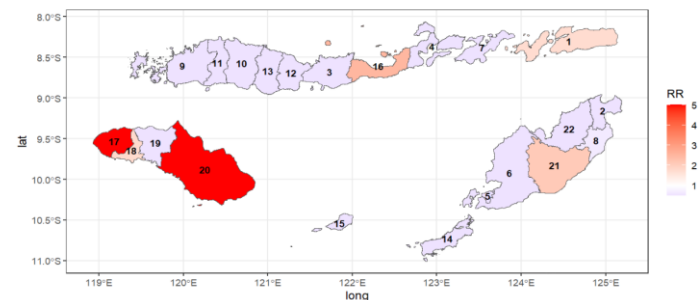
Nilai Risiko Relatif penyebaran Malaria di Provinsi Nusa Tenggara Timur ditunjukkan pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Nilai Risiko Relatif penyebaran Malaria di Nusa Tenggara Timur

No	Kabupaten	RR	No	Kabupaten	RR
1.	Alor	1.734 053	12.	Nagekeo	0.015 797
2.	Belu	0.087	13.	Ngada	0.010

		475			197
3.	Ende	0.015 389	14.	Rote Ndao	0.264 441
4.	Flores Timur	0.272 98	15.	Sabu Raijua	0.006 63
5.	Kota Kupang	0.113 311	16.	Sikka	2.492 638
6.	Kupang	0.206 443	17.	Sumba Barat Daya	11.52 464
7.	Lembata	0.042 168	18.	Sumba Barat	1.767 468
8.	Malaka	0.641 141	19.	Sumba Tengah	0.125 692
9.	Manggarai Barat	0.040 663	20.	Sumba Timur	18.70 126
10.	Manggarai Timur	0.016 589	21.	Timor Tengah Selatan	2.110 587
11.	Manggarai	0.038 914	22.	Timor Tengah Utara	0.014 033

Peta Risiko Relatif penyebaran Malaria di Provinsi Nusa Tenggara Timur ditunjukkan pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4. Peta Risiko Relatif Penyebaran Kasus Malaria di Provinsi Nusa Tenggara Timur

Gambar 4 memperlihatkan pemetaan Risiko Relatif (RR) Kasus Malaria di Provinsi Nusa Tenggara Timur yang dihasilkan menggunakan perangkat lunak RStudio. Peta ini menggambarkan tingkat RR penyakit malaria di setiap wilayah, di mana wilayah dengan tingkat RR yang lebih rendah ($RR < 1$) diberi warna ungu muda. Wilayah dengan RR di atas rata-rata (nilai $RR > 1$) diberi warna merah muda, sementara wilayah dengan tingkat RR yang lebih tinggi ($RR > 5$) ditandai dengan warna merah tua.

Pada Gambar 4 menunjukkan Variasi penyebaran malaria di Provinsi NTT menunjukkan perbedaan signifikan antar wilayah. Sumba Timur

(ID=20) dan Sumba Barat Daya (ID=17) memiliki risiko relatif (RR) sangat tinggi ($RR > 5$), masing-masing sebesar 18,7 dan 11,5, ditandai dengan warna merah tua. Wilayah dengan RR di atas rata-rata ($RR > 1$), seperti Sikka (ID=16) sebesar 2,4, Timor Tengah Selatan (ID=21) sebesar 2,1, Sumba Barat (ID=18) sebesar 1,7, dan Alor (ID=1) sebesar 1,7, ditandai dengan warna merah muda. Sebaliknya, daerah dengan RR terendah, seperti Timor Tengah Utara (ID=22) sebesar 0,01, Ngada (ID=13) sebesar 0,01, dan Sabu Raijua (ID=15) sebesar 0,006, memiliki warna ungu muda, menunjukkan pengendalian malaria yang lebih efektif.

4. Kesimpulan dan saran

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa penyebaran malaria di NTT menunjukkan variasi yang signifikan antar wilayah, dengan beberapa daerah seperti Sumba Timur dan Sumba Barat Daya mencatatkan tingkat insiden jauh di atas rata-rata nasional. Faktor kemiskinan dan pengelolaan limbah (TPA) terbukti signifikan memengaruhi penyebaran malaria, sementara variabel lain seperti kepadatan penduduk dan sanitasi tidak menunjukkan pengaruh yang berarti. Oleh karena itu, pemerintah dan instansi terkait disarankan untuk meningkatkan program pemberdayaan ekonomi masyarakat guna mengurangi kemiskinan serta memperbaiki sistem pengelolaan limbah di wilayah-wilayah rawan.

Penelitian selanjutnya dapat menggali lebih dalam faktor-faktor yang berperan dalam penyebaran malaria dengan mengeksplorasi berbagai pendekatan analisis lainnya. Metode spasial seperti *Spatial Multicriteria Analysis* dan pendekatan non-spasial seperti *Ordinary Least Square (OLS)* dapat digunakan sebagai pembandingan untuk melihat konsistensi hasil. Selain itu, penggunaan metode yang memasukkan aspek temporal dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai dinamika dan perubahan risiko malaria dari waktu ke waktu.

Daftar Pustaka

- [1] R. N. Wondo, D. O. Dodo, and T. A. L. Regaletha, "Analisis Program Pemeliharaan Status Eliminasi Malaria Di Kabupaten Ende Tahun 2023," vol. 6, no. 2, pp. 1–248, 2024.
- [2] L. Landudjama, M. K. Hara, I. Noviana, and Y. E. Sumartini, "LITERATURE REVIEW: PENANGANAN AWAL KEGAWATDARURATAN MALARIA," *J. Innov. Res. Knowl.*, vol. 4, no. 5, pp. 3053–3068, 2024.
- [3] Kementrian Kesehatan, *Profil Kesehatan*. 2016.
- [4] WHO, *World malaria report 2021 [Internet]*. 2021.
- [5] E. E. Wutun, R. D. Guntur, K. B. Ginting, J. R. Pahnael, and D. Kusumaningrum, "HUBUNGAN FAKTOR DEMOGRAFIS DENGAN PENGETAHUAN METODE PENCEGAHAN MALARIA MASYARAKAT PEGUNUNGAN DI PROVINSI NTT," *J. Cakrawala Ilm.*, vol. 4, no. 2, pp. 1–23, 2024.
- [6] L. INDRIYANI, L. GANDRI, N. ARAFAH, S. BANA, V. FITRIANI, and B. BASUKI, "Analisis Spasial Temporal Environmental Critical Index (ECI) Kota Kendari," *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 24, no. 2, pp. 149–156, 2023.
- [7] A. L. Rahayu, G. Darmawan, and I. G. N. M. Jaya, "Calculation of the Risk Index for Diarrhea, ISPA, and Pneumonia in Toddlers in the City of Bandung Using Geographically Weighted Principal Component Analysis," *Indones. J. Adv. Res.*, vol. 2, no. 4, pp. 285–300, 2023.
- [8] N. A. Samat and W. Pei Zhen, "Relative risk estimation for dengue disease mapping in Malaysia based on Besag, York and Mollié model," *Pertanika J. Sci. Technol.*, vol. 25, no. 3, pp. 759–766, 2017.
- [9] A. Mbiliyora, T. B. T. Satoto, and E. H. Murhandarwati, "Pemetaan Spasial Malaria dan Faktor Risiko di Kecamatan Lamboya Kabupaten Sumba Barat," *J. Kesehat.*

- Vokasional*, vol. 8, no. 4, p. 226, 2023.
- [10] B. S. Widartono, S. Suharyadi, T. B. T. Satoto, T. A. Garjito, and D. S. S. Rejeki, "Penerapan Data Spasial Kebijakan Satu Peta untuk Pemodelan Kerawanan Malaria Terintegrasi, Kasus Malaria Perbukitan Menoreh," *Maj. Geogr. Indones.*, vol. 37, no. 1, p. 22, 2022.
- [11] D. Rachmadhani, "Pemodelan prediksi kerawanan penyakit malaria menggunakan metode," *J. Bumi Indones.*, vol. 4, no. 4, pp. 1–10, 2015.
- [12] I. A. Depraing, "Pemetaan Reseptif Vektor Malaria Di Wilayah Kerja Puskesmas Tarus Tahun 2023," *Repos. Poltekes Kupang*, 2023.
- [13] M. Morris, K. Wheeler-Martin, D. Simpson, S. J. Mooney, A. Gelman, and C. DiMaggio, "Bayesian hierarchical spatial models: Implementing the Besag York Mollié model in stan," *Spat. Spatiotemporal. Epidemiol.*, vol. 31, 2019.
- [14] A. de Carvalho Dutra *et al.*, "Bayesian Modeling and Estimation of Spatial Risk for Hospitalization and Mortality from Ischemic Heart Disease in Paraná, Brazil," *Glob. Heart*, vol. 19, no. 1, 2024.
- [15] A. L. Rahayu, G. Darmawan, and I. G. N. M. Jaya, "Calculation of the Risk Index for Diarrhea, ISPA, and Pneumonia in Toddlers in the City of Bandung Using Geographically Weighted Principal Component Analysis," *Indones. J. Adv. Res.*, vol. 2, no. 4, pp. 285–300, Apr. 2023.
- [16] P. Moraga, *Geospatial Health Data: Modeling and Visualization with R-INLA and Shiny*, 1st ed. .
- [17] A. Feriansyah, I. F. Abdullah, S. C. A. Putri, M. Isnaini, and A. Aswi, "Pemetaan Risiko Relatif Kasus Demam Berdarah Dengue di Kota Makassar Menggunakan Model Bayesian Spasial," *Inferensi*, vol. 6, no. 2, p. 125, Sep. 2023.
- [18] J.-M. Hashazimari, C. Niyungeko, M. N. Kedote, V. Ntakarutimana, and L. Djgbenou, "Exposure to solid waste from landfills and increased risk of malaria, the case of the population of Buterere in Bujumbura (2018-2020): case-control study," *Appl. Math. Sci.*, vol. 16, no. 11, pp. 537–544, 2022.
- [19] F. Ricci, "Social implications of malaria and their relationships with poverty," *Mediterr. J. Hematol. Infect. Dis.*, vol. 4, no. 1, 2012.