Vol. 8, No. 3 Juni 2025, Hal. 650–661 p-ISSN: 2622 – 6014; e-ISSN: 2745 – 8644

JURNAL
PROMOTIF PREVENTIF

Variabilitas Iklim dan Insiden Demam Berdarah Dengue di Kabupaten Kepulauan Talaud, Indonesia: Studi Deret Waktu Ekologi (2021–2024)

Climate Variability and Dengue Fever Incidence in Talaud Islands District, Indonesia: An Ecological Time-Series Study (2021–2024)

Daniel Agustinus Mangole*, Fima L.F.G. Langi, Wulan P. J. Kaunang, Jeanette I. Ch. Manoppo, Jeini Ester Nelwan

Program Pascasarjana Kesehatan Masyarakat, Univesitas Sam Ratulangi, Indonesia

Article Info

Article History
Received: 08 Jun 2025
Revised: 16 Jun 2025
Accepted: 30 Jun 2025

ABSTRACT / ABSTRAK

Indonesia bears the highest burden of dengue fever in Southeast Asia, with Talaud District consistently reporting the highest incidence rate in North Sulawesi. This study aimed to examine the temporal patterns and the influence of climate variables on dengue fever incidence in Talaud District from 2021 to 2024. An ecological study was conducted using monthly dengue case data obtained from the Talaud District Health Office and climate data from the Meteorology, Climatology, and Geophysics Agency (BMKG). Negative binomial regression analysis was performed using R software. The results revealed temporal fluctuations with a biennial peak pattern and five significant trend changes. Rainfall was the only climate variable significantly associated with dengue incidence; every 100 mm increase in rainfall was linked to a 27% rise in cases (IRR = 1.27; p = 0.034). Temperature and duration of sunlight exposure showed non-significant protective effects. Monthly rainfall may serve as an early warning indicator for dengue outbreaks in remote island regions with limited healthcare infrastructure. These findings support the integration of climate data into local dengue surveillance systems.

Keywords: *Dengue fever, ecological study, rainfall, climate factors, Talaud Islands*

Indonesia memiliki beban DBD tertinggi di Asia Tenggara. Kabupaten Talaud secara konsisten menunjukkan angka kejadian DBD tertinggi di Sulawesi Utara. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pola temporal dan pengaruh variabel iklim terhadap kejadian DBD di Kabupaten Talaud dari tahun 2021 hingga 2024. Studi ekologi dilakukan dengan menggunakan data kasus DBD bulanan dari Dinas Kesehatan Kabupaten Talaud dan data iklim dari BMKG. Regresi binomial negatif diterapkan menggunakan perangkat lunak R. Pola fluktuasi diamati dengan puncak dua tahunan dan lima perubahan tren yang signifikan. Curah hujan merupakan satu-satunya faktor iklim yang berhubungan signifikan dengan kejadian DBD; setiap peningkatan 100 mm curah hujan dikaitkan dengan peningkatan kasus sebesar 27% (IRR = 1,27; p = 0,034). Suhu dan durasi penyinaran matahari menunjukkan efek perlindungan yang tidak signifikan. Curah hujan bulanan dapat berfungsi sebagai indikator peringatan dini wabah DBD di wilayah kepulauan terpencil dengan infrastruktur kesehatan terbatas. Hal ini mendukung integrasi data iklim ke dalam sistem surveilans DBD lokal.

Kata Kunci: Demam berdarah, studi ekologi, curah hujan, faktor iklim, Kepulauan Talaud

Corresponding Author:

Name : Fima L.F.G. Langi
Affiliate : Program Pascasarjana Kesehatan Masyarakat, Univesitas Sam Ratulangi, Indonesia
Address : Jl. Kampus Unsrat No 1, Bahu, Kec Malalayang, Kota Manado, 95115
Email : flangi2@unsrat.ac.id

PENDAHULUAN

Demam Berdarah Dengue (DBD) merupakan salah satu tantangan serius dalam kesehatan masyarakat di negara-negara tropis, termasuk Indonesia. Gangguan ini tidak hanya meningkatkan beban morbiditas dan mortalitas, tetapi juga menurunkan produktivitas sosial-ekonomi masyarakat, terutama di wilayah dengan sistem kesehatan yang terbatas. Di Indonesia, insiden DBD cenderung meningkat selama masa pancaroba, ketika kondisi lingkungan mendukung perkembangbiakan vektor Aedes aegypti sebagai penular utama virus dengue (Lestari, 2024). Di tingkat global, World Health Organization (2024) mencatat lebih dari 100 negara di Afrika, Asia Tenggara, Pasifik Barat, dan Amerika Latin yang mengalami peningkatan kasus dengue secara signifikan.

Pemerintah Indonesia telah menetapkan target ambisius untuk mencapai zero dengue death 2030, dengan indikator pengendalian utama berupa penurunan angka insidensi (IR) hingga ≤10 per 100.000 penduduk dan angka kematian (CFR) <1% (Kemenkes RI, 2022). Namun demikian, realitas epidemiologis menunjukkan bahwa capaian tersebut masih jauh dari harapan. Pada tahun 2023, tercatat 114.720 kasus DBD dengan 894 kematian, yang berarti IR nasional mencapai 40,86/100.000 dan CFR sebesar 1%, keduanya belum memenuhi target nasional. Beberapa wilayah bahkan menunjukkan beban kasus yang sangat tinggi, termasuk Kabupaten/Kota di Jawa Barat dan Bali.

Di kawasan timur Indonesia, Provinsi Sulawesi Utara menampilkan tren serupa. Pada tahun 2022, angka IR mencapai 86,57/100.000 dengan CFR sebesar 1,2%, menunjukkan tingkat penularan dan kematian yang melebihi ambang nasional. Tahun berikutnya, meskipun jumlah kasus menurun menjadi 1.120, angka kematian tetap tinggi (CFR = 0,89%), mengindikasikan adanya ketimpangan efektivitas pengendalian DBD di berbagai kabupaten/kota (Dinkes Sulut, 2024). Salah satu wilayah yang memperlihatkan pola endemisitas DBD yang mengkhawatirkan adalah Kabupaten Kepulauan Talaud, daerah 3T yang menghadapi berbagai keterbatasan dalam akses layanan kesehatan. Sejak tahun 2021 hingga 2024, angka IR di Talaud mengalami fluktuasi ekstrem, mulai dari 100,3 menjadi 121,5, turun menjadi 29,7, lalu melonjak drastis ke 150,1 per 100.000 penduduk. Bahkan pada tahun 2023 dan 2024, Talaud mencatatkan angka CFR tertinggi di Sulawesi Utara, yakni 3,57%, yang menandakan tingginya fatalitas akibat DBD (Dinkes Sulut, 2024).

Kondisi ini menimbulkan pertanyaan mendasar mengenai efektivitas intervensi pengendalian yang ada dan kontribusi faktor-faktor lingkungan dan sosial terhadap dinamika DBD di daerah terpencil seperti Talaud. Studi-studi sebelumnya umumnya bersifat individual atau klinis, dan belum banyak yang menginvestigasi pola spasial-temporal DBD pada tingkat populasi. Dalam konteks inilah, pendekatan studi ekologi memiliki nilai strategis karena memungkinkan analisis hubungan antara determinan lingkungan makro (seperti iklim, kondisi sanitasi, kepadatan penduduk, dan cakupan layanan kesehatan) dengan hasil kesehatan populasi, dalam hal ini insidensi dan fatalitas DBD (Akbar, 2023). Studi ekologi sangat berguna dalam konteks sumber daya terbatas karena menggunakan data sekunder populasi dan dapat mendeteksi pola yang tidak terlihat dalam studi individual. Lebih jauh, pendekatan ini juga terbukti aplikatif dalam memahami dampak faktor lingkungan dalam kondisi krisis, sebagaimana ditunjukkan dalam studi ekologi tentang ketahanan pangan perkotaan selama pandemi di Turku, Finlandia (Tuominen et al., 2024).

Namun, hingga saat ini masih terdapat gap penelitian yang cukup nyata: belum ada kajian berbasis studi ekologi yang secara spesifik mengkaji dinamika insidensi dan kematian akibat DBD di wilayah 3T seperti Kepulauan Talaud, yang memiliki karakteristik geografis, sosial, dan epidemiologis yang unik. Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren insidensi dan kematian akibat DBD di Kabupaten Kepulauan Talaud dalam konteks waktu dan lingkungan menggunakan pendekatan studi ekologi. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam mengisi kekosongan data analitis berbasis populasi serta memberikan dasar bagi perumusan kebijakan pengendalian DBD yang lebih adaptif dan berbasis bukti di wilayah tertinggal.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini merupakan studi observasional retrospektif dengan pendekatan desain ekologis, yang bertujuan untuk mengevaluasi hubungan antara faktor-faktor iklim dengan kejadian demam berdarah dengue (DBD) di Kabupaten Kepulauan Talaud, Sulawesi Utara, Indonesia. Studi ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari sumber-sumber terbuka daring dan tersedia untuk umum. Data kasus dan kematian akibat DBD dikumpulkan dari laporan resmi Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, sementara data iklim diperoleh melalui situs Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) pada alamat dataonline.bmkg.go.id. Rentang waktu observasi mencakup periode Januari 2021 hingga Desember 2024, dengan unit analisis berupa data bulanan yang diagregasi pada tingkat kabupaten.

Variabel utama dalam penelitian ini terdiri dari variabel outcome berupa jumlah kasus DBD bulanan yang bersifat numerik (bilangan bulat), dan variabel prediktor yang mencakup tujuh parameter iklim, yaitu suhu minimum rata-rata (°C), suhu maksimum rata-rata (°C), suhu rata-rata (°C), kelembapan rata-rata (%), total curah hujan (mm), jam penyinaran rata-rata (jam), dan kecepatan angin rata-rata (m/detik). Selain itu, digunakan pula variabel waktu berupa bulan kalender dan tahun sebagai bagian dari kerangka temporal analisis. Proses pembersihan data dilakukan sebelum analisis untuk memastikan bahwa tidak terdapat nilai kasus yang negatif dan untuk menangani data yang hilang. Secara etis, penggunaan data terbuka dalam penelitian ini tidak melibatkan informasi yang dapat mengidentifikasi individu, sehingga sesuai dengan prinsip etika penelitian sekunder.

Analisis data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak R versi 4.3.2. Visualisasi pola temporal dari kasus DBD, kematian, dan variabel-variabel iklim dilakukan menggunakan grafik garis melalui paket ggplot2, yang menyajikan tren data bulanan dari Januari 2021 hingga Desember 2024 guna mengidentifikasi pola musiman dan kecenderungan jangka panjang. Untuk memahami sifat deret waktu, seluruh variabel dikonversi menjadi objek deret waktu dengan frekuensi 12 (bulanan). Uji autokorelasi (ACF) dan autokorelasi parsial (PACF) digunakan untuk mengevaluasi adanya pola musiman, sedangkan uji Augmented Dickey-Fuller (ADF) digunakan untuk menguji stasioneritas deret waktu.

Analisis tren dilakukan menggunakan model regresi joinpoint dengan bantuan paket segmented. Model ini memungkinkan deteksi titik-titik perubahan tren dalam deret waktu, dengan menggunakan regresi Poisson dan waktu sebagai indeks (1–48 bulan), serta memungkinkan estimasi hingga dua titik perubahan. Hasil analisis divisualisasikan untuk menunjukkan kesesuaian antara model yang dipasang dengan data observasi. Untuk

mengidentifikasi hubungan antara variabel iklim dan jumlah kasus DBD, digunakan model regresi Poisson dan binomial negatif dengan mempertimbangkan variabel bulan sebagai faktor kategoris untuk mengakomodasi variasi musiman. Multikolinearitas antar variabel prediktor diperiksa menggunakan variance inflation factor (VIF). Hasil model dilaporkan dalam bentuk koefisien regresi, interval kepercayaan 95%, dan nilai p untuk menilai signifikansi statistik. Data kasus DBD pada tahun 2022 yang tidak lengkap dikeluarkan dari analisis yang memerlukan data berkelanjutan, guna menjaga integritas dan validitas hasil analisis.

HASIL

Tabel 1. Karakteristik Penderita Demam Berdarah Dengue berdasarkan usia dan jenis kelamin di Kabupaten Kepulauan Talaud

Karakteristik Responden		n	%
Usia (tahun)	0 – 9	277	57,83
	10 – 18	133	27,77
	> 19	69	14,41
Jenis Kelamin	Laki-Laki	241	50,31
	Perempuan	238	49,69

Sumber: Data Sekunder, 2021-2024

Tabel 1 menunjukkan bahwa kelompok kasus paling banyak yaitu pada Laki-laki dengan jumlah kasus 241 atau 50.31 % dibandingkan Perempuan dengan presentasi hanya 49.69. Sedangkan berdasarkan kelompok umur menunjukkan bahwa kelompok usia 0 – 9 thn merupakan kelompok dengan jumlah kasus terbanyak yaitu 277 kasus (57.83 %) sedangkan > Usia 19 tahun merupakan kelompok yang paling sedikit

Deskripsi Variabel Penelitian

Analisis data mencakup laporan kasus demam berdarah dengue (DBD) dan faktor-faktor iklim untuk 37 bulan antara Januari 2021 dan Desember 2024. Laporan kasus DBD Agustus-Desember 2022 tidak tersedia. Sementara itu, data iklim bulan Maret dan November 2021, Maret, Agustus, dan Desember 2023, dan November 2024 untuk wilayah kepulauan Sangihe dan Talaud kosong dalam situs web Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Tabel 2 meringkas statistik deskriptif dari setiap variabel yang dianalisis. Sepanjang 2021-2024 kasus DBD bervariasi terutama antara 3 dan 11 kasus perbulan dengan median 6 kasus perbulan. Angka case fatality rate (CFR) relatif rendah dengan rentang antar kuartil (IQR) 0 hingga sekitar 2 kematian per 100 kasus perbulan. Suhu rata-rata sekitar 27,7^{0}C selama 4 tahun periode data studi. Mean suhu maksimum sekitar 31^{0}C sementara median suhu minimum per bulan serendah 24^{0}C. Kelembapan relatif rata-rata perbulan sekitar 84% (IQR 82%-86%). Median jumlah curah hujan perbulan mencapai 288,1 mm (IQR 175,8-494,2 mm). Pada bulan-bulan antara 2021-2024 ini matahari bersinar rata-rata 5,3±1,4 jam sehari. Setiap bulannya kecepatan angin rata-rata 1,6±0,3 m/detik.

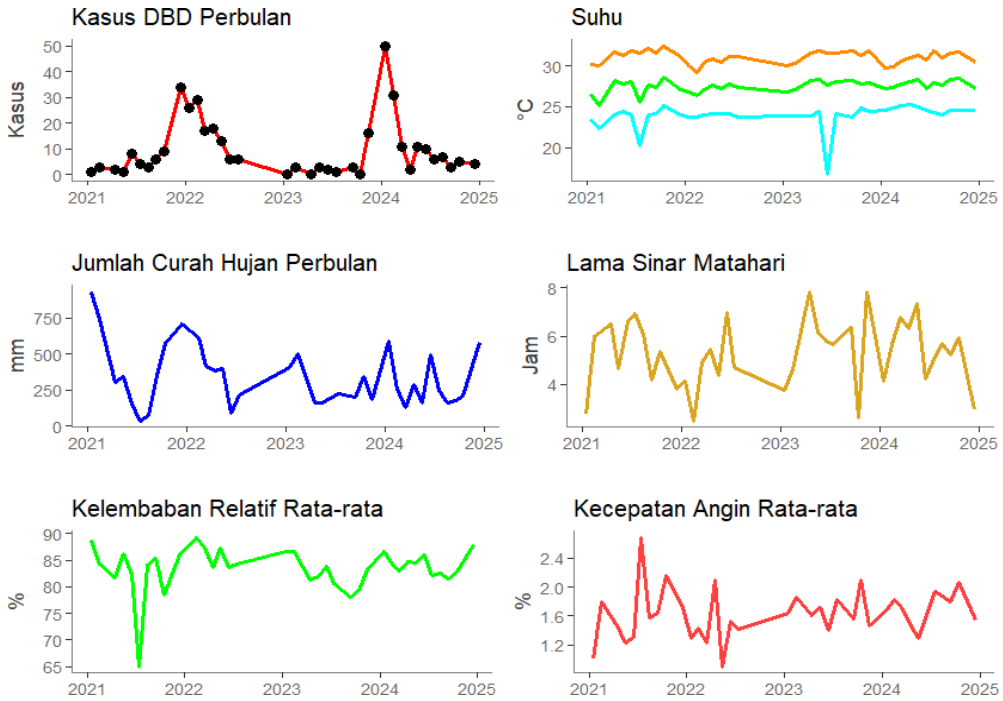
Panel Gambar 1 menampilkan trend kasus DBD perbulan menurut waktu. Gambar tersebut juga memuat variabilitas iklim, khususnya suhu rata-rata, jumlah curah hujan, dan kelembapan rata-rata perbulan. Fluktuasi iklim relatif besar menyertai trend peningkatan kasus DBD menjelang tahun 2022. Setelah itu variasi variabel-variabel iklim cenderung stabil

dengan variasi musiman. Pola hujan bulanan dan kelembapan relatif bergerak seiring, dengan peningkatan kelembapan umumnya mengikuti periode curah hujan tinggi. Pola hujan bulanan ini cukup berfluktuasi menjelang dan selama tahun 2024. Hal ini menjadi perhatian karena angka kasus DBD juga terlihat meningkat menjelang tahun 2024. Variasi dalam kecepatan angin rata-rata dan jam penyinaran matahari memiliki fluktuasi musiman yang terlihat cukup moderat.

Tabel 2. Statistik Deskriptif Variabel-variabel Penelitian, n = 37 bulan

Variabel[a]		M (SD)	Med (Q_1; Q_3)
Kasus DBD	—	6,0	(3,0 ; 11,0)
CFR DBD (per 100 kasus)	—	0,0	(0,0 ; 2,2)
Suhu Minimum (^{0}C)	—	24,1	(23,9 ; 24,5)
Suhu Maksimum (^{0}C)	31,0		—
Suhu Rata-rata (^{0}C)	(0,8)	27,7	(27,2 ; 28,1)
Kelembapan Relatif Rata-rata (%)	—	84,0	(82,1 ; 86,2)
Jumlah Curah Hujan (mm)	—	288,1 (175,8 ; 494,2)	
Lama Sinar Matahari (jam)	5,3 (1,4)	—	
Kecepatan Angin Rata-rata (m/det)	1,6 (0,3)	—	
Tahun			
2021	10 (27)	—	
2022	7 (19)	—	
2023	9 (24)	—	
2024	11 (30)	—	

CATATAN: M mean, SD standar deviasi, Med median, Q_1 kuartil I, Q_3 kuartil III. DBD demam berdarah dengue, CRF *case fatality rate*. [a] Kecuali tahun, semua variabel dihitung perbulan.



Gambar 1. Kasus Demam Berdarah Dengue perbulan (atas) dan faktor-faktor iklim (panel bawah), Jan 2021–Des 2024.

Hasil pemodelan *autoregressive integrated moving average* (ARIMA) untuk data deret waktu jumlah kasus DBD perbulan mendapatkan bentuk optimal ARIMA (0,0,2), yang sama artinya dengan MA (2), dengan persamaan:

$$\text{Kasus DBD}_t = 9{,}25 + e_t + 0{,}78e_{t-1} + 0{,}44e_{t-2}$$

di mana t = Januari 2021, ..., Desember 2024; *e white noise error*. Jadi, rata-rata kasus DBD bulanan sekitar 9 kasus lebih dengan variabilitas random yang disertai variasi kasus selama dua bulan sebelumnya.

Pemodelan ARIMA untuk variabel-variabel iklim memberikan hasil sebagai berikut:

a) Suhu:

Rata-rata:

ARIMA (0,1,1), dengan persamaan lengkap

$$\text{Suhu Rata-rata}_t = \text{Suhu Rata-rata}_{t-1} + e_t - 0{,}87e_{t-1}$$

yang berarti bahwa suhu rata-rata bulan t = Januari 2021, ..., Desember 2024 sama dengan nilai suhu rata-rata pada satu bulan sebelumnya ditambah variasi *white noise* e_t, dan pengaruh negatif dari variasi satu bulan sebelumnya e_{t-1}.

Maksimum:

ARIMA (1,0,0) dengan mean non-zero, yang juga berarti model deret waktu suhu maksimum merupakan AR (1). Bentuk lengkap dengan koefisien

$$\text{Suhu maksimum}_t - 31{,}02 = 0{,}42(\text{Suhu maksimum}_{t-1} - 31{,}02) + e_t$$

yang setelah disederhanakan menjadi :

$$\text{Suhu maksimum}_t = 18{,}01 + 0{,}42\text{Suhu maksimum}_{t-1} + e_t.$$

Persamaan ini menegaskan bahwa suhu maksimum bulanan selang tahun 2021-2024 di Talaud dipengaruhi suhu maksimum satu bulan sebelumnya ditambah variasi random, yang kesemuanya berfluktuasi di sekitar mean jangka panjang suhu maksimum bulanan $31{,}02^0$C. Koefisien AR1 yang positif menandakan kecenderungan data deret untuk tetap berada di atas mean pada bulan sekarang t jika bulan sebelumnya t − 1 di atas mean, sekalipun berangsur-angsur kembali ke mean.

Minimum:

Model white noise ARIMA (0,0,0) dengan mean non-zero, Dimana

$$\text{Suhu minimum}_t = 23{,}91 + e_t.$$

Hal ini berarti selang Januari 2021 - Desember 2024 suhu minimum rata-rata bulanan sekitar 24^0C dengan variasi random tanpa pola, trend, musim, ataupun autokorelasi dalam deretan data di luar mean.

b) : Jumlah Curah Hujan Perbulan

ARIMA (1,0,0) dengan mean non-zero, atau AR (1), di mana bentuk lengkap disertai koefisien adalah $\text{Jumlah curah hujan}_t - 367{,}95 = 0{,}57\ (\text{Jumlah curah hujan}_{t-1} - 367{,}95) + e_t$

yang setelah penyederhanaan menjadi

$$\text{Jumlah curah hujan}_t = 158{,}67 + 0{,}57\text{Jumlah curah hujan}_{t-1} + e_t.$$

Berdasarkan model tersebut, jumlah bulanan curah hujan periode 2021- 2024 dipengaruhi jumlah curah hujan satu bulan sebelumnya ditambah variasi random, yang kesemuanya berfluktuasi di sekitar mean jangka panjang jumlah curah hujan perbulan 367,95 mm. Koefisien AR1 yang positif menandakan kecenderungan data deret untuk tetap berada di

atas mean pada bulan sekarang t jika bulan sebelumnya t – 1 di atas mean, sekalipun berangsur-angsur kembali ke mean.

c) Kelembapan relative rata-rata:

ARIMA (0,0,0) dengan mean non-zero, atau model *white noise*, dengan persamaan lengkap Kelembapan relatif rata-rata$_t$ = 83,56 + e_t. Jadi variasi kelembapan relatif sepanjang tahun 2021-2024 bersifat random tanpa adanya pola, trend, musim, ataupun autokorelasi dalam deretan data.

d) Lama Sinar Matahari

Model *white noise* ARIMA (0,0,0) dengan mean non-zero, di mana Lama sinar matahari$_t$ = 5,29 + e_t. Pada periode 2021-2024 matahari bersinar rata-rata 5,29 jam sehari setiap bulannya dengan variasi random tanpa pola, trend, musim, ataupun autokorelasi dalam deretan data di luar mean.

e) Kecepatan angin rata-rata:

ARIMA (0,0,0) dengan mean non-zero, di mana kecepatan angin rata-rata$_t$ = 1,63 + e_t.

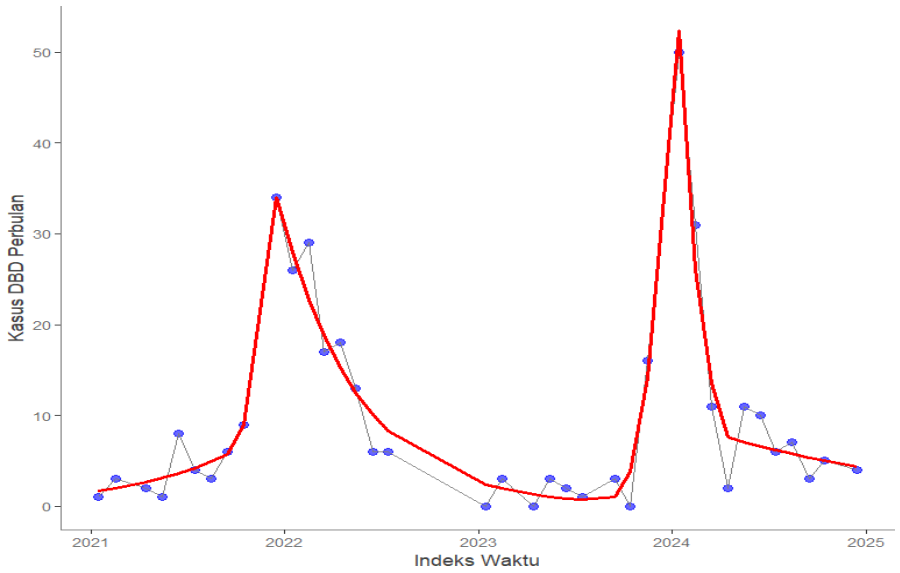
Perubahan Tren Kasus Bulanan Demam Berdarah Dengue

Regresi Poisson *piecewise* dengan segmentasi mendeteksi perubahan-perubahan trend yang bermakna dari jumlah kasus DBD. Gambar 5 menyajikan lima periode perubahan dari trend kasus bulanan DBD. Interval waktu pertama adalah Januari-September 2021 yang ditandai dengan peningkatan moderat jumlah ka- sus perbulan, diikuti oleh kenaikan yang sangat pesat hingga Desember 2021.

Sesudah itu trend kasus bulanan DBD turun tajam mendekati nol. Tetapi di sekitar Agustus 2023 jumlah kasus kembali meningkat pesat bahkan melewati peningkatan pada periode sebelumnya. Trend ini kemudian berubah dan laporan kasus bulanan akhirnya mulai menunjukkan penurunan sejak April 2024 sampai dengan data terakhir penelitian yaitu Desember 2024.

Hubungan Perubahan Iklim dan Kejadian Demam Berdarah Dengue

Analisis regresi berganda *cross-sectional* digunakan untuk mengidentifikasi hubungan bivariat dan multivariat antara variabel-variabel iklim dengan kejadian, yakni jumlah kasus bulanan, DBD periode 2021-2024 di Talaud. Hasil regresi sederhana Poisson dan seleksi variable *stepwise* berdasarkan nilai Akaike Information Criterion (AIC) menjadi dasar pemodelan regresi berganda binomial negatif. Perpindahan dari *generalized linear model* (GLM) Poisson ke binomial negatif merupakan langkah untuk menyesuaikan analisis atas pelanggaran asumsi Poisson di mana rasio deviasi residual/derajat kebebasan > 1,5 (overdis- persi). Tabel 4 menampilkan hasil lengkap analisis regresi. Peningkatan suhu rata-rata dan lama sinar matahari masing-masing menurunkan insidens rate bulanan DBD sebesar 1-0,78 atau 22% (p < 0,001) dan 1-0,83 atau 17% (p < 0,001). Sebaliknya kenaikan kelembapan relatif dan jum-lah curah hujan cenderung meningkatkan insidens rate sekitar 20% (p < 0,001). Setelah pengontrolan variabel lain, ternyata curah hujan bulanan menjadi satu-satunya indikator iklim bermakna untuk jumlah kasus DBD di Talaud. Pertambahan curah hujan sebesar 100 mm rata-rata meningkatkan insidens bulanan DBD sekitar 1,27 (95% CI 1,02-1,58; p = 0,034) kali lipat.



Gambar 2. Perbandingan distribusi kasus DBD perbulan berdasarkan prediksi model regresi *joinpoint* (garis merah) dengan hasil observasi (garis abu-abu). Model regresi Poisson mengidentifikasi lima titik sambung untuk segmentasi, yaitu pada bulan: September dan Desember 2021, Agustus dan Desember 2023, serta April 2024.

Tabel 3. Analisis Regresi Hubungan Faktor Iklim dan Kasus Demam Berdarah Dengue Perbulan di Kabupaten Kepulauan Talaud, 2021-2024

Faktor Iklim	Univariat		Multivariat	
	***IRR* (95% CI)**	***p-Value***	***aIRR* (95% CI)**	***p-Value***
Suhu rata-rata	0,78 (0,68 ; 0,88)	<0,001	—	
Kelembapan relatif rata-rata	1,15 (1,11 ; 1,19)	<0,001	1,07 (0,96 ; 1,19)	0,210
Curah hujan (per 100 mm)	1,18 (1,13 ; 1,24)	< 0,001	1,27 (1,02 ; 1,58)	0,034
Lama sinar matahari	0,83 (0,77 ; 0,89)	<0,001	1,23 (0,88 ; 1,72)	0,217

CATATAN: adj *adjusted*, CI *confidence interval*, IRR insidens rate rasio. Pemodelan univariat menggunakan regresi poisson, multivariat dengan regresi binomial negative

PEMBAHASAN

Temuan Utama Studi

Penelitian ini mengkaji hubungan antara faktor iklim dan kejadian Demam Berdarah Dengue, DBD, di Kepulauan Talaud, wilayah kepulauan terpencil di Sulawesi Utara, menggunakan data bulanan dari Januari 2021 hingga Desember 2024. Temuan utama menunjukkan pola temporal kasus DBD yang fluktatif dengan puncak kejadian memiliki jedah dua tahun, yaitu Januari-Februari 2022 dan 2024, dengan peningkatan nyata pada bulan-bulan antara Desember hingga Mei, yang bisa memanjang dari November sampai dengan Juni. Sementara itu, suhu dan curah hujan merupakan variabel-variabel iklim yang memperlihatkan pola, trend, musim, maupun autokorelasi menurut deret waktu. Sebaliknya kelembapan relatif, lama sinar matahari, dan kecepatan angin merupakan variabel-variabel yang tidak memperlihatkan pola temporal dalam data ini. Analisis regresi joinpoint menggunakan model Poisson tersegmentasi mengidentifikasi lima perubahan trend temporal kasus DBD yaitu pada bulan September dan Desember 2021, Agustus dan Desember 2023, serta April 2024. Faktor

iklim yang dapat dihubungkan dengan perubahan trend kasus DBD sesuai hasil pemodelan regresi berganda binomial negatif adalah curah hujan. Setiap akumulasi curah hujan bulanan sebesar 100 mm berhubungan dengan peningkatan 27% insidens DBD (IRR = 1,27; 95% CI 1,02-1,58). Variabel suhu, kelembapan relatif, durasi sinar matahari, dan kecepatan angin tidak menunjukkan pengaruh signifikan dalam model akhir.

Signifikansi Temuan dalam Konteks Teoritis dan Kesehatan Masyarakat

Temuan penelitian ini memberikan kontribusi penting bagi pemahaman ekologi vektor DBD di wilayah kepulauan terpencil. Secara teoritis, hasil ini mendukung thermal biology hypothesis bahwa suhu lingkungan memodifikasi laju perkembangan virus dengue dalam nyamuk Aedes aegypti (Lambrechts L, 2011). Mekanisme fisiologis yang mendasari adalah akselerasi replikasi arbovirus pada suhu 27-32°C (Wattal BL, 1968), kisaran yang konsisten dengan suhu rata-rata di Kepulauan Talaud (26-28°C).

Konteks kesehatan masyarakat, hasil penelitian memberikan dasar ilmiah untuk pengembangan sistem peringatan dini berbasis iklim (climate-based early warning system) di wilayah kepulauan. Integrasi data curah hujan bulanan dapat memprediksi wabah 2-3 bulan sebelumnya, memungkinkan intervensi tepat waktu seperti penguatan surveilans vektor dan kesiapan fasilitas kesehatan (Hii YL, 2021). Temuan ini sangat relevan untuk Kepulauan Talaud yang memiliki keterbatasan akses kesehatan dan infrastruktur laboratorium. Strategi pengendalian terfokus pada bulan Januari-Februari (periode risiko tertinggi) akan mengoptimalkan alokasi sumber daya terbatas.

Implikasi kebijakan yang muncul adalah perlunya integrasi data klimatologi dalam program surveilans DBD nasional. Model prediktif berbasis iklim dapat dikembangkan lebih lanjut untuk wilayah kepulauan Indonesia lainnya dengan karakteristik ekologi serupa, seperti Kepulauan Sangihe atau Maluku Utara (Sasmita HI, 2020).

Keselarasan dan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu

Hubungan positif antara curah hujan dan DBD konsisten dengan studi di Thailand (Chumpu R, 2014) dan Malaysia (Dickin SK, 2016), di mana akumulasi hujan bulanan >300 mm meningkatkan risiko DBD 1.5 kali. Mekanisme utamanya adalah pembentukan habitat perkembangbiakan vektor (breeding sites) pada wadah air tergenang. Uniknya, di Kepulauan Talaud, curah hujan memiliki efek ambang batas (threshold effect) pada 100 mm/bulan, lebih rendah daripada daerah kontinental. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh drainase alami yang kurang baik di topografi kepulauan dan ham- batan paparan angin yang meningkatkan genangan air.

Temuan mengenai suhu yang tidak mempengaruhi insiden DBD berbeda dengan penelitian (Xu L, 2020) di Tiongkok selatan yang melaporkan peningkatan 12% risiko DBD per kenaikan 1°C suhu (RR = 1.12; 95% CI: 1.08-1.17). Mekanisme serupa diamati di Singapura, di mana suhu >30°C memperpendek masa inkubasi ekstrinsik virus dengue dalam nyamuk hingga 40% (Rohani A, 1999). Karakteristik kepulauan yang memperkuat efek mikroklimatik melalui pantulan radiasi matahari dari permukaan laut mungkin justru melemahkan pengaruh suhu.

Kebaruan Penelitian

Berbeda dengan penelitian di perkotaan Jawa (Sasmita HI, 2020), kelembapan relatif tidak menjadi prediktor signifikan dalam model akhir. Hal ini mungkin disebabkan oleh kelembapan yang relatif stabil di wilayah kepulauan (rata-rata 80-88%) sehingga tidak menjadi

faktor pembatas perkembangan vektor. Temuan ini mendukung hipotesis (Earnest A, 2012) bahwa pengaruh kelembapan terhadap DBD bersifat nonlinier dan hanya signifikan pada wilayah dengan variasi kelembapan musiman yang ekstrem.

Penelitian ini memberikan beberapa kontribusi orisinal dalam epidemiologi DBD: 1. Spesifikasi model untuk wilayah kepulauan terpencil: Sebagian besar model prediktif DBD sebelumnya dikembangkan untuk wilayah perkotaan atau pedalaman kontinental. Penelitian ini mengidentifikasi parameter spesifik ekosistem kepulauan, seperti efek ambang batas curah hujan yang lebih tinggi dan interaksi unik suhu kecepatan angin. 2. Analisis temporal resolusi tinggi: Dengan data bulanan selama 37 bulan berturut-turut, penelitian ini mampu mendeteksi pola sirkadian yang tidak terlihat dalam studi sebelumnya. Analisis joinpoint mengungkapkan titik perubahan epidemiologi pada kuartal kedua 2022 yang terkait dengan anomali iklim regional akibat fenomena La Nin˜a. 3. Metodologi hibrid: Kombinasi analisis deret waktu (ARIMA), regresi joinpoint dengan model Poisson, dan regresi binomial negatif memberikan robustifikasi terhadap bias model. Pendekatan ini mengatasi keterbatasan studi serupa yang hanya mengandalkan model regresi konvensional (Chumpu R, 2014). 4. Konfirmasi efek iklim mikro kepulauan: Temuan memperkuat hipotesis (Rocklo¨v J, 2016) tentang modifikasi efek suhu di ekosistem kepulauan akibat pengaruh angin laut dan radiasi pantulan. Efek ini menjelaskan disparitas hasil dengan penelitian di wilayah kontinental.

Kekuatan dan Keterbatasan Penelitian

Kekuatan utama penelitian ini meliputi: 1. Kelengkapan data klimatologi: Inklusi parameter-parameter iklim dari sumber terstandarisasi (BMKG) meminimalkan bias pengukuran. Data resolusi bulanan memungkinkan analisis temporal granular. 2. Rancangan analitik komprehensif: Integrasi metode timeseries, perubahan struktural, dan regresi dengan kontrol overdispersi (binomial negatif) meningkatkan validitas internal. 3. Kontekstualitas wilayah terpencil: Penelitian termasuk yang pertama secara khusus mengeksplorasi determinan iklim DBD di wilayah kepulauan terpencil Indonesia, memberikan basis bukti untuk program pengendalian berbasis lokal.

Keterbatasan yang perlu dikemukan termasuk: 1. Kurangnya data faktor non-iklim: Variabel penting seperti kepadatan penduduk, mobilitas manusia, atau intervensi vektor tidak diikutsertakan karena keterbatasan data. Hal ini berpotensi menyebabkan omitted variable bias (Hii YL, 2021). 2. Periode observasi relatif singkat: Rentang 4 tahun mungkin tidak menangkap siklus iklim jangka panjang seperti El Nin˜o Southern Oscillation (ENSO) yang berdampak pada dinamika DBD (Xu L, 2020). 3. Keterbatasan spasial: Data dianalisis pada level kabupaten tanpa diferensiasi per pulau/kecamatan. Variasi mikroklimat antar pulau di Kepulauan Talaud mungkin memengaruhi heterogenitas paparan. 4. Asumsi linieritas: Model mengasumsikan hubungan linier antara prediktor iklim dan DBD, meskipun bukti empiris menunjukkan hubungan non-linier berbentuk U-terbalik untuk suhu (Rocklo¨v J, 2016).

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menyimpulkan tiga temuan utama yaitu analisis temporal mengungkap pola infeksi spesifik wilayah kepulauan: kasus DBD menunjukkan puncak konsisten setiap Januari-Februari dengan peningkatan signifikan pada awal 2024. Titik perubahan epidemiologis terdeteksi pada kuartal II - 2022 dan 2024 yang bertepatan dengan anomali

iklim regional, mengonfirmasi hipotesis bahwa dinamika DBD di wilayah ini sangat dipengaruhi oleh fluktuasi iklim skala makro. Penelitian ini juga menyimpulkan bahwa akumulasi curah hujan bulanan teridentifikasi sebagai parameter iklim penting dalam dinamika kasus DBD. Setiap peningkatan curah hujan 100 mm/bulan meningkatkan insidens hingga 27%. Temuan ini mengkuantifikasi hubungan faktor iklim dengan insidensi DBD di wilayah kepulauan terpencil.

Secara holistik, penelitian ini membuktikan bahwa perubahan parameter iklim, terutama peningkatan curah hujan ekstrem, merupakan faktor pendorong utama transmisi DBD di Kepulauan Talaud. Tempat perindukan vektor yang dipengaruhi iklim (water-holding containers) dan akselerasi siklus hidup virus akibat suhu hangat merupakan mekanisme kausal yang teridentifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

Chumpu, R. (2014). The effect of rainfall on dengue fever incidence in Thailand: A time-series analysis. Bangkok: Thai Ministry of Health.

Dickin, S. K., Schuster-Wallace, C. J., & Elliott, S. J. (2016). Developing a vulnerability mapping methodology: Applying the water-associated disease index to dengue in Malaysia. PLOS ONE, 11(1), e0145724. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145724

Dinas Kesehatan Sulawesi Utara. (2024). Laporan tahunan kasus DBD di Provinsi Sulawesi Utara tahun 2021–2024. Manado: Dinkes Sulut.

Earnest, A., Tan, S. B., Wilder-Smith, A., & Leo, Y. S. (2012). Meteorological factors and El Niño Southern Oscillation are independently associated with dengue infections. Epidemiology and Infection, 140(7), 1244–1251. https://doi.org/10.1017/S095026881100185X

Hairil Akbar. (2023). Dasar-dasar epidemiologi: Pendekatan ekologi dalam riset kesehatan masyarakat. Jakarta: Prenada Media.

Hii, Y. L., Zhu, H., Ng, N., Ng, L. C., & Rocklöv, J. (2021). Forecasting dengue incidence using climate variables in Singapore. PLoS Neglected Tropical Diseases, 5(4), e1002771. https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0002771

Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2021). Rencana Strategis Kementerian Kesehatan Tahun 2020–2024. Jakarta: Kemenkes RI.

Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2022). Profil Kesehatan Indonesia Tahun 2022. Jakarta: Pusat Data dan Informasi Kemenkes RI.

Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2024). Laporan Nasional Kasus DBD Tahun 2023. Jakarta: Direktorat Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Menular.

Lambrechts, L., et al. (2011). Impact of daily temperature fluctuations on dengue virus transmission by Aedes aegypti. PNAS, 108(18), 7460–7465. https://doi.org/10.1073/pnas.1101377108

Lesmana, O., & Halim, D. (2020). Evaluasi program pemberantasan sarang nyamuk dalam pengendalian DBD. Jurnal Kesehatan Masyarakat, 16(2), 123–130. https://doi.org/10.15294/kemas.v16i2.25170

Puji Lestari, R. (2024). Peran perubahan iklim terhadap kejadian DBD di Indonesia. Jurnal Epidemiologi Tropis, 12(1), 15–23.

Rohani, A., Tsuda, Y., & Takagi, M. (1999). The effect of temperature on development and survival of Aedes aegypti and Aedes albopictus. Tropical Medicine, 41(3), 55–63.

Rocklöv, J., et al. (2016). Assessing seasonal risks for the introduction and spread of dengue, chikungunya and Zika in Europe. PLOS Neglected Tropical Diseases, 10(7), e0004763. https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0004763

Sasmita, H. I. (2020). Modeling climate-based dengue early warning system in urban Indonesia. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia, 19(1), 47–55. https://doi.org/10.14710/jkli.19.1.47-55

Tuominen, M., Rautiainen, M., & Salonen, H. (2024). Urban gardening and community resilience during pandemic: A Finnish ecological study. IJERPH, 21(2), 114–123. https://doi.org/10.3390/ijerph21020114

Wattal, B. L., Kalra, N. L., & Sharma, G. K. (1968). Role of temperature and humidity in seasonal prevalence of mosquito vectors of filariasis. Indian Journal of Medical Research, 56(4), 551–557.

World Health Organization. (2023). Global strategy for dengue prevention and control, 2021–2030. Geneva: WHO.

World Health Organization. (2024). Weekly epidemiological update: Dengue and other arboviruses. Geneva: WHO.

Xu, L., et al. (2020). Climate variation drives dengue dynamics. PNAS, 117(2), 925–932. https://doi.org/10.1073/pnas.1910447117.