

Perubahan Iklim dan Penyakit Tular Vektor di Asia Tenggara: Systematic Literature Review

Climate Change and Vector-Borne Diseases in Southeast Asia: a Systematic Literature Review

Putri Wulan Akbar^{1*}, Nur Edy Suminarti², Nisa Arifani³

¹Departemen Kedokteran Klinis, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

Jalan Locari, Tlekung, Junrejo, Kota Batu, Jawa Timur Indonesia

²Bagian Klimatologi, Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya

Jalan Veteran, Ketawang Gede, Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur

³Bagian Emergensi Medisin, Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya

Jalan Jaksa Agung Suprpto No 2, Kota Malang, Jawa Timur

*Corresponding author

Email: putriwulanakbar@uin-malang.ac.id

A b s t r a c t

Keyword :

Climate variability, Environmental determinants, Extreme weather events, Southeast Asia, Vector-borne diseases.

Background: Climate change contributes to the increasing risk of vector-borne diseases by altering environmental conditions that influence vector dynamics and disease transmission patterns. Southeast Asia is a region highly vulnerable to the impacts of climate change while simultaneously bearing a substantial burden of vector-borne diseases. However, scientific evidence that systematically examines the relationship between climatic variables and vector-borne diseases in this region remains limited and fragmented. ***Objective:*** This study aims to synthesize the most recent scientific evidence on the relationship between climate change and climate variability and the occurrence of vector-borne diseases in Southeast Asia. ***Methods:*** A literature search was conducted in the Scopus, EBSCOhost, and PubMed databases using combinations of keywords related to climate change and vector-borne diseases. Included studies were original research articles published in English between 2021 and 2026 and conducted in Southeast Asian countries. The selection process followed the PRISMA guidelines. Methodological quality was assessed using the Joanna Briggs Institute (JBI) critical appraisal tools. Data synthesis was performed narratively. ***Results:*** Seven studies met the inclusion criteria. Temperature exhibited a non-linear relationship with disease risk, whereby increases within an optimal range enhanced transmission, while extreme temperatures tended to exert a protective effect. Absolute humidity and rainfall were generally positively associated with increased incidence, although their effects depended on intensity and temporal distribution. Heatwaves and drought demonstrated delayed effects that may elevate risk, whereas extremely wet conditions showed potential to reduce transmission in certain contexts. Environmental factors also played a significant role: high urban density supported the dominance of specific vectors, and air pollutants demonstrated protective associations in several studies. ***Conclusion:*** The relationship between climate variables and vector-borne diseases is complex, non-linear, and context-specific. The integration of extreme climate indicators and environmental factors into early warning systems and area-based control strategies is essential to address the challenges posed by climate change in Southeast Asia.

Kata kunci :

Asia Tenggara, Cuaca ekstrem, Determinan lingkungan, Penyakit tular vektor, Variabilitas iklim.

A B S T R A K

Latar belakang: Perubahan iklim berkontribusi terhadap meningkatnya risiko penyakit tular vektor melalui perubahan kondisi lingkungan yang memengaruhi dinamika vektor dan pola penularan penyakit. Kawasan Asia Tenggara merupakan wilayah yang rentan terhadap dampak perubahan iklim sekaligus memiliki beban penyakit tular vektor yang tinggi. Namun, bukti ilmiah yang secara sistematis mengkaji hubungan antara variabel iklim dan penyakit tular vektor di kawasan ini masih terbatas dan tersebar. ***Tujuan:*** Untuk

mensintesis bukti ilmiah terkini mengenai hubungan antara perubahan dan variabilitas iklim dengan kejadian penyakit tular vektor di Asia Tenggara. **Metode:** Pencarian literatur dilakukan pada basis data Scopus, EBSCOhost, dan PubMed menggunakan kombinasi kata kunci terkait perubahan iklim dan penyakit tular vektor. Artikel yang diinklusikan merupakan artikel penelitian original berbahasa Inggris, dipublikasikan pada periode 2021–2026, dan dilakukan di negara-negara Asia Tenggara. Proses seleksi dilakukan mengikuti pedoman PRISMA. Kualitas metodologis studi dinilai menggunakan instrumen penilaian kritis *Joanna Briggs Institute (JBI)*. Sintesis hasil dilakukan secara naratif. **Hasil:** Tujuh studi memenuhi kriteria inklusi. Suhu menunjukkan hubungan non-linear dengan risiko penyakit, dimana peningkatan suhu dalam rentang optimal meningkatkan transmisi, sementara suhu ekstrem cenderung bersifat protektif. Kelembapan absolut dan curah hujan umumnya berasosiasi positif dengan peningkatan insidensi, meskipun efeknya bergantung pada intensitas dan distribusi temporal. Gelombang panas dan kekeringan menunjukkan efek tertunda yang dapat meningkatkan risiko, sedangkan kondisi sangat basah berpotensi menurunkan transmisi pada konteks tertentu. Faktor lingkungan memperlihatkan peran penting, di mana kepadatan urban mendukung dominasi vektor tertentu, dan polutan udara menunjukkan asosiasi protektif pada beberapa studi. **Kesimpulan:** Hubungan antara variabel iklim dan penyakit tular vektor bersifat kompleks, non-linear, dan bersifat lokal. Integrasi variabel iklim ekstrem dan faktor lingkungan dalam sistem peringatan dini serta strategi pengendalian berbasis wilayah menjadi penting dalam menghadapi tantangan perubahan iklim di Asia Tenggara.

LATAR BELAKANG

Perubahan iklim telah diakui sebagai salah satu tantangan kesehatan masyarakat terbesar pada abad ke-21.^{1,2} Peningkatan suhu global, perubahan pola curah hujan, serta meningkatnya frekuensi dan intensitas kejadian iklim ekstrem tidak hanya berdampak pada lingkungan fisik, tetapi juga memengaruhi dinamika penyakit infeksi, khususnya penyakit yang ditularkan melalui vektor.^{3,4} Penyakit tular vektor seperti demam dengue, malaria, chikungunya, dan Japanese encephalitis sangat sensitif terhadap faktor iklim karena siklus hidup, kelimpahan, dan distribusi geografis vektornya dipengaruhi secara langsung oleh kondisi suhu, kelembapan, dan curah hujan.^{5,6}

Kawasan Asia Tenggara merupakan salah satu wilayah yang paling rentan terhadap dampak perubahan iklim sekaligus memiliki beban penyakit tular vektor yang tinggi.^{7,8} Karakteristik iklim tropis, kepadatan penduduk yang tinggi, urbanisasi cepat, serta ketimpangan kapasitas sistem kesehatan menjadikan wilayah ini sangat rentan terhadap peningkatan risiko penularan penyakit berbasis vektor.^{1,9} Dalam beberapa dekade terakhir, berbagai studi melaporkan adanya hubungan antara variabilitas iklim dan peningkatan insidensi penyakit tular vektor di negara-negara Asia Tenggara, baik melalui analisis deret waktu, pendekatan spasial, maupun pemodelan prediktif.^{10,11}

Meskipun jumlah penelitian mengenai hubungan perubahan iklim dan penyakit tular vektor terus meningkat, bukti ilmiah yang ada masih tersebar, menggunakan pendekatan metodologis yang beragam, serta berfokus pada konteks geografis dan skala analisis yang berbeda-beda.¹² Kondisi ini menyulitkan upaya untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai pola hubungan, faktor iklim yang paling berpengaruh, serta konsistensi temuan antar negara di kawasan Asia Tenggara. Selain itu, perbedaan desain studi dan kualitas metodologis juga

menimbulkan variasi dalam kekuatan bukti yang dihasilkan. Oleh karena itu, diperlukan suatu sintesis bukti ilmiah yang sistematis dan terstruktur untuk mengkaji secara menyeluruh bagaimana perubahan iklim memengaruhi kejadian penyakit infeksi yang ditularkan melalui vektor di Asia Tenggara.

METODE

Desain Studi

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mensintesis bukti ilmiah mengenai hubungan antara perubahan iklim dan kejadian penyakit infeksi yang ditularkan melalui vektor di kawasan Asia Tenggara. Proses SLR dilakukan mengacu pada pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA).

Strategi Pencarian Literatur

Pencarian literatur dilakukan pada tiga basis data internasional utama, yaitu Scopus, EBSCOhost, dan PubMed, untuk menjangkau publikasi ilmiah yang relevan dan telah melalui proses *peer-review*. Strategi pencarian dirancang menggunakan kombinasi kata kunci dan operator Boolean sebagai berikut: ("*climate change*" OR "*global warming*" OR "*climate variability*") AND ("*vector-borne diseases*" OR "*mosquito-borne diseases*")

Pencarian dibatasi pada artikel yang dipublikasikan dalam rentang waktu 2021–2026. Pembatasan geografis pada wilayah Asia Tenggara tidak diterapkan secara langsung dalam string pencarian, melainkan dilakukan pada tahap skrining. Pendekatan ini dipilih untuk menghindari kehilangan studi relevan yang tidak secara eksplisit mencantumkan istilah Asia Tenggara dalam judul atau abstrak, tetapi dilakukan di negara-negara di kawasan tersebut. Seluruh hasil pencarian diekspor ke dalam perangkat lunak pengelola referensi untuk proses deduplikasi sebelum dilakukan tahap skrining.

Proses Seleksi Studi

Seleksi studi dilakukan melalui beberapa tahapan menggunakan Microsoft Excel sebagai alat bantu utama dalam proses skrining dan manajemen data. Tahap pertama adalah skrining judul dan abstrak untuk mengidentifikasi kesesuaian awal dengan topik penelitian. Seluruh hasil pencarian dari basis data diekspor ke dalam lembar kerja Excel, kemudian dilakukan proses deduplikasi secara manual.

Setiap artikel selanjutnya diklasifikasikan ke dalam kategori *include*, *exclude*, atau *uncertain* berdasarkan kesesuaian dengan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Artikel yang dikategorikan *include* dan *uncertain* dilanjutkan ke tahap penilaian teks penuh (*full-text screening*) untuk menentukan kelayakan akhir.

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria inklusi dalam SLR ini meliputi: artikel jurnal ilmiah yang telah melalui proses *peer-review*, publikasi dalam bahasa Inggris, artikel yang diterbitkan pada periode 2021–2026; studi yang dilakukan pada populasi (P) manusia dan/atau vektor penyakit di kawasan Asia Tenggara; Intervensi/*exposure* (I) studi yang menganalisis hubungan antara variabel iklim (misalnya suhu, curah hujan, kelembapan, variabilitas iklim, atau kejadian iklim ekstrem); menggunakan perbandingan (*Comparison/C*) variasi temporal, spasial, dan lingkungan dan penyakit infeksi yang ditularkan melalui vektor; *Outcome* (O) yang diukur mencakup kejadian penyakit tular vektor pada manusia dan/atau indikator ekologi vektor yang relevan dengan risiko penularan penyakit; desain studi (S) observasional (*time-series*, *ecological*, *cohort*, *cross-sectional*) atau studi pemodelan spasial/prediktif berbasis data iklim dan kesehatan.

Sedangkan kriteria eksklusi meliputi: artikel editorial, komentar, surat kepada editor, atau prosiding konferensi tanpa teks lengkap, dokumen abu-abu seperti laporan

institusi, tesis, atau disertasi, studi yang hanya berfokus pada hewan atau vektor tanpa implikasi langsung terhadap kesehatan manusia, artikel yang membahas perubahan iklim tanpa *outcome* kesehatan, atau penyakit infeksi non-vektor, dan artikel tanpa akses teks lengkap.

Ekstraksi Data

Data dari artikel yang lolos seleksi diekstraksi menggunakan tabel ekstraksi berbasis kerangka PICOS. Informasi yang dikumpulkan meliputi karakteristik studi (penulis, tahun, negara), tujuan penelitian, desain dan metode analisis, karakteristik populasi, variabel iklim sebagai paparan, bentuk perbandingan, *outcome* kesehatan, temuan utama, serta implikasi kebijakan atau rekomendasi yang disampaikan oleh penulis.

Penilaian Kualitas Studi

Kualitas metodologis dan risiko bias dari setiap studi yang disertakan dinilai menggunakan *Joanna Briggs Institute (JBI) Critical Appraisal Checklist* yang disesuaikan dengan desain masing-masing studi.¹³ Penilaian JBI mencakup aspek kejelasan tujuan penelitian, validitas pengukuran paparan dan *outcome*, pengendalian faktor perancu, kesesuaian analisis statistik, serta kelengkapan pelaporan hasil. Setiap studi diklasifikasikan ke dalam kategori kualitas rendah, sedang, atau tinggi berdasarkan jumlah kriteria JBI yang terpenuhi.

Sintesis Data

Mengingat heterogenitas desain studi, variabel iklim, dan *outcome* kesehatan yang dilaporkan, sintesis data dilakukan secara naratif dengan pendekatan tematik. Hasil penelitian dikelompokkan berdasarkan jenis penyakit tular vektor, variabel iklim utama, serta pendekatan metodologis yang digunakan. Sintesis ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola hubungan yang konsisten, perbedaan antar konteks geografis, serta kesenjangan penelitian yang masih ada.

HASIL PENELITIAN

Pencarian awal literatur menghasilkan total 141.906 artikel, yang terdiri dari 2.948 artikel dari Scopus, 134.206 artikel dari EBSCOhost, dan 4.752 artikel dari PubMed. Sebanyak 141.661 artikel dikeluarkan sebelum tahap skrining karena memenuhi satu atau lebih kriteria eksklusi, yaitu: diterbitkan sebelum tahun 2021, bukan artikel penelitian asli (*original research article*), tidak ditulis dalam bahasa Inggris, dan/atau dilakukan di luar wilayah Asia Tenggara.

Setelah proses penyaringan awal, 245 artikel memenuhi kriteria untuk dilakukan skrining judul dan abstrak. Sebanyak 222 artikel dikeluarkan pada tahap ini karena tidak relevan dengan tujuan SLR ini. Dua puluh tiga artikel selanjutnya dilakukan asesmen teks penuh (*full-text assessment*) untuk menilai kelayakan berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Sebanyak 16 studi dikeluarkan pada tahap ini: 5 studi tidak dilakukan di wilayah Asia Tenggara (Cina, Ethiopia, Bangladesh, dan Ghana), 3 studi bukan merupakan studi observasional ataupun spasial, 7 studi tidak memiliki intervensi yang relevan dengan tujuan SLR ini, dan 1 studi tidak menilai kejadian penyakit tular vektor ataupun indikator ekologi vektor sebagai *outcome*. Didapatkan 7 studi untuk dilanjutkan dalam proses sintesis (Gambar 1).

Karakteristik Studi

Systematic Literature Review ini menyertakan tujuh artikel yang memenuhi kriteria inklusi, yaitu Seah (2021), Ridha (2022), Sutriyawan (2024), Herbreteau (2025), Akbar (2025), Ith (2025), dan Tewari (2023). Seluruh studi dipublikasikan pada periode 2021–2025 dan dilakukan di kawasan Asia Tenggara, meliputi Indonesia, Thailand, Kamboja, serta analisis multi-negara Asia Tenggara.

Penyakit yang dikaji didominasi oleh dengue dan malaria, dengan tambahan

chikungunya dan Japanese encephalitis pada studi Tewari (2023). *Outcome* yang dianalisis mencakup insidensi kasus manusia, distribusi spasial vektor, serta dinamika risiko transmisi berbasis waktu.

Sebagian besar penelitian menggunakan desain observasional berbasis data sekunder dengan pendekatan *time-series*, panel data spasial, maupun analisis spasial resolusi tinggi. Tidak terdapat studi eksperimental atau intervensi. Beberapa studi, seperti Ith (2025), menggunakan *generalized additive mixed models* dengan *distributed lag non-linear models* (DLNM) untuk menangkap hubungan non-linear dan efek keterlambatan waktu. Tewari (2023) mengaplikasikan *generalized linear models* (GLM) dan *generalized additive models* (GAM) dengan berbagai asumsi dependensi spasiotemporal. Herbreteau (2025) menggunakan pendekatan spasial berbasis *buffer* dan integrasi data penginderaan jauh resolusi tinggi.

Kualitas Studi

Secara umum, kualitas metodologis berada pada kategori sedang hingga baik berdasarkan kerangka penilaian JBI untuk studi observasional.¹⁴ Seluruh studi memiliki tujuan yang jelas, definisi variabel eksplisit, serta sumber data yang dapat diverifikasi (data surveilans nasional dan data meteorologi resmi). Pendekatan statistik pada beberapa studi (Ith 2025; Tewari 2023) menunjukkan kekuatan metodologis tinggi karena mempertimbangkan nonlinieritas dan dependensi spasiotemporal. Namun demikian, keterbatasan studi tetap teridentifikasi. Tidak semua studi secara konsisten mengendalikan variabel perancu noniklim seperti mobilitas penduduk, intervensi kesehatan, atau faktor sosio ekonomi. Analisis efek *lag* (keterlambatan waktu antara paparan suatu faktor dengan munculnya dampak, seperti kejadian penyakit) juga tidak diterapkan secara merata di seluruh studi. Selain itu,

heterogenitas desain dan indikator paparan membatasi kemungkinan meta-analisis kuantitatif.

Variabel Paparan Iklim dan Lingkungan

Variabel paparan utama meliputi suhu (rata-rata, ekstrem, gelombang panas), kelembapan (absolut dan relatif), curah hujan/total presipitasi, kecepatan angin, serta indikator kondisi kering dan sangat basah berbasis indeks kekeringan. Ith (2025) secara khusus mengkaji gelombang panas, kekeringan dan kondisi basah ekstrim menggunakan *self-calibrating Palmer Drought Severity Index* (scPDSI). Tewari (2023) menambahkan faktor polutan udara (SO₂, PM_{2.5}, dan CO) sebagai determinan lingkungan.

Sebagian studi menganalisis efek nonlinier dan ambang biologis, sementara Ith (2025) secara eksplisit mengevaluasi efek *lag* dua bulan antara paparan ekstrem dan peningkatan risiko dengue. Herbreteau (2025) menambahkan variabel lanskap seperti vegetasi dan karakteristik peri-urban dalam analisis distribusi vektor.

Outcome Penyakit Tular Vektor

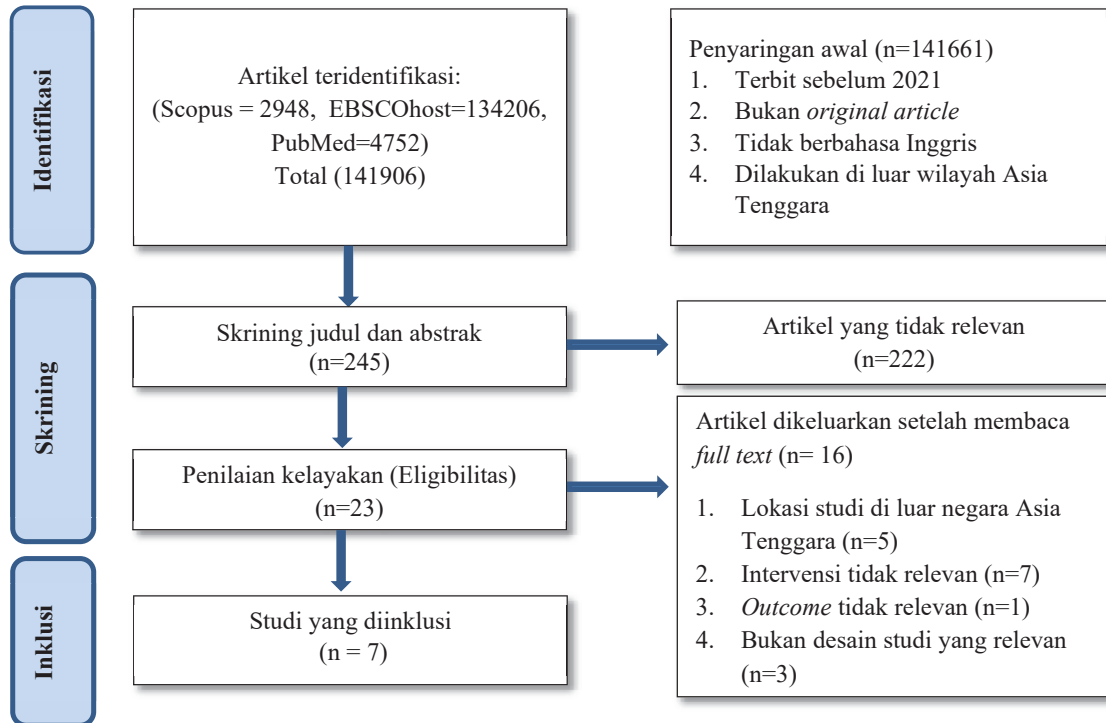
Outcome utama mencakup insidensi dengue, malaria, chikungunya, dan Japanese encephalitis, serta distribusi dan kepadatan vektor. Ukuran asosiasi yang digunakan bervariasi, termasuk *relative risk* (RR), koefisien regresi, dan estimasi nonlinier berbasis *spline*. Studi Ith (2025) melaporkan peningkatan risiko dengue pada kondisi kekeringan dan penurunan risiko pada kondisi sangat basah. Tewari (2023) menunjukkan asosiasi positif antara kelembapan absolut dan presipitasi dengan peningkatan kasus, serta asosiasi negatif pada suhu ekstrem sangat tinggi.

Temuan Utama dan Pola Hubungan

Suhu dan kelembapan merupakan determinan yang paling konsisten, sementara curah hujan dan variabel ekstrem menunjukkan heterogenitas kontekstual.

Faktor lingkungan seperti polusi udara, vegetasi peri-urban, dan kepadatan penduduk memodulasi risiko melalui perubahan ekologi vektor dan karakteristik lanskap.

Heterogenitas desain, skala spasial, dan metode analitik antar studi menunjukkan adanya kompleksitas hubungan iklim–penyakit dan menjadi alasan utama sintesis dilakukan secara naratif.



Gambar 1. Diagram Alur PRISMA

Tabel 1. Ekstraksi data

| Identitas Studi | Tujuan studi | Populasi (P) | Eksposure/variabel iklim (I) | Comparison (C) | Outcome (O) | Temuan (Implikasi/Rekomendasi) |
|--|--|---|---|--|---|---|
| Seah et al., 2021 (Singapura) ¹⁵ | Menganalisis hubungan antara suhu ekstrem (suhu udara maksimum dan gelombang panas) dengan kejadian dengue | Populasi manusia (semua kelompok usia) n: seluruh kasus dengue terlapor secara nasional di Singapura (2009-2018) | Suhu udara maksimum dan gelombang panas | variasi temporal (mingguan) | Dengue fever (Insidensi kasus dengue) | <ul style="list-style-type: none"> Peningkatan suhu 1 °C dari 31°C, menurunkan risiko kumulatif dengue selama enam minggu 13,1% (RR 0,868; 95% CI 0,798–0,946). Minggu dengan tiga hari gelombang panas menyebabkan penurunan risiko dengue sebesar 28,3% dibandingkan minggu tanpa gelombang panas (RR 0,717; 95% CI 0,608–0,845). Suhu ekstrem yang melampaui kisaran optimal biologis vektor menurunkan kelangsungan hidup atau kapasitas transmisi nyamuk, sehingga berkontribusi pada penurunan insidensi dengue. |
| Ridha et al., 2022 (Indonesia) ¹⁶ | Menganalisis hubungan antara faktor iklim dan kejadian malaria di Kalimantan Timur | Populasi manusia (tidak dibedakan berdasarkan umur), n: kasus malaria di Kalimantan Timur (2014-2020) | Suhu udara, curah hujan, kelembapan relatif (rata-rata bulanan) | variasi temporal (bulan) | Insidensi/Annual Parasite Incidence (API) Malaria (P. falciparum dan P. vivax); | <ul style="list-style-type: none"> Penurunan API hanya 0,07% dari 2014-2020; Terjadi pergeseran dominasi parasit dari P. falciparum ke P. vivax; terdapat pola musiman malaria di Kalimantan timur (Desember–Maret) Kelembapan relatif berhubungan positif dengan kasus P. vivax, Suhu bulanan berkorelasi negatif dengan kasus P. vivax. |
| Sutriyawan, 2024 (Indonesia) ¹⁷ | Menganalisis hubungan antara variabel iklim (suhu tahunan, curah hujan, dan kecepatan angin) dengan prevalensi DBD di Bandung. | Populasi manusia (tidak dibedakan berdasarkan umur), n: kasus DBD di Bandung tahun 2020 | suhu tahunan, kelembapan, curah hujan, dan kecepatan angin | variasi temporal (bulan, sepanjang 2020) | DBD (prevalensi) | <ul style="list-style-type: none"> Peningkatan prevalensi DBD di Bandung terjadi pada bulan Januari-Juni dan menurun pada bulan Juli-Desember. Terdapat hubungan yang signifikan antara kelembapan dan kecepatan angin dengan prevalensi terjadinya DBD ($r=0,67$, $p=0,018$; $r=-0,63$, $p=0,028$). Variasi iklim (suhu, kelembapan, curah hujan, kecepatan angin) secara bersama-sama dapat mempengaruhi angka insiden DBD di Bandung. |

| Identitas Studi | Tujuan studi | Populasi (P) | Eksposure/variabel iklim (I) | Comparison (C) | Outcome (O) | Temuan (Implikasi/Rekomendasi) |
|---|--|--|--|--|---|---|
| Herbreteau et al., 2025 (Kamboja) ¹⁸ | Mengkaji distribusi spasial dan temporal <i>Aedes aegypti</i> dan <i>Aedes albopictus</i> di wilayah urban dan peri-urban Phnom Penh serta hubungannya dengan faktor lingkungan dan iklim. | Vektor (Nyamuk <i>Ae. aegypti</i> dan <i>Ae. albopictus</i>) | Curah hujan (data harian); indikator lingkungan (vegetasi, air di permukaan) | spasial (urban vs peri-urban); <i>buffer</i> radius berbeda (250 m, 500 m, 1000 m) | Dengue (melalui distribusi dan kepadatan <i>Ae. aegypti</i> dan <i>Ae. albopictus</i>). Hubungan faktor lingkungan dan iklim | <ul style="list-style-type: none"> Lingkungan urban yang padat didominasi <i>Ae. Aegypti</i>; Area peri-urban hijau berair didominasi <i>Ae. albopictus</i>. Terdapat pola spasial dan temporal yang berbeda antara dua spesies vektor; curah hujan dan karakteristik lingkungan berperan dalam distribusi vektor di Phnom Penh. |
| Akbar et al., 2025 (Indonesia) ¹⁹ | Menganalisis hubungan antara variabel iklim (suhu tahunan dan curah hujan tahunan) dengan mortalitas DBD di Indonesia. | Populasi manusia, n: kasus dengue nasional di Indonesia 2010-2023 | Suhu rata-rata tahunan, curah hujan rata-rata tahunan | variasi temporal antar tahun | DBD (Mortalitas dengue) | <ul style="list-style-type: none"> Suhu tahunan berhubungan signifikan dengan mortalitas dengue ($p = 0,049$; $R^2 = 0,212$; 95% CI: 710,85–2.233) Curah hujan tahunan tidak menunjukkan hubungan signifikan. Jumlah kasus dengue berhubungan signifikan dengan mortalitas ($p < 0,001$; $R^2 = 1,075$; 95% CI: 0,007–0,010) |
| Ith et al., 2025 (8 negara Asia Tenggara) ²⁰ | Menganalisis hubungan antara kejadian cuaca ekstrem (gelombang panas, kondisi kering ekstrem, kondisi basah ekstrem) dengan kejadian dengue di Asia Tenggara | Populasi manusia, n: kasus dengue 8 negara: Indonesia, Laos, Malaysia, Filipina, Singapura, Thailand, Vietnam, dan Kamboja tahun 1998-2021 | Temperatur rata-rata bulanan, gelombang panas, kondisi basah ekstrem, dan kering | Variasi temporal (bulan dan tahun) | Risiko dengue (RR) | <ul style="list-style-type: none"> Bulan dengan kurang dari 12 hari gelombang panas meningkatkan risiko dengue (setelah 2 bulan) dibandingkan dengan bulan tanpa gelombang panas Risiko dengue tertinggi adalah bulan dengan 7 hari gelombang panas (RR= 1,28; 95%CI 1,19-1,38) Kondisi kering (scPDSI= -4) berhubungan positif dengan risiko dengue (RR=1,85; 95%CI 1,73-1,99) dibandingkan dengan kondisi normal (scPDSI=0). Kondisi basah ekstrem (scPDSI=4) menurunkan risiko dengue (RR 0.89; 95%CI 0,87-0,91) |

| Identitas Studi | Tujuan studi | Populasi (P) | Eksposure/variabel iklim (I) | Comparison (C) | Outcome (O) | Temuan (Implikasi/Rekomendasi) |
|--|--|--|--|---|---|---|
| Tewari et al., 2023 (Thailand) ²¹ | Menganalisa hubungan antara lingkungan (iklim, polusi udara) dengan penyakit tular vektor nyamuk di Thailand (Dengue, malaria, Chikungunya, dan Japanese encephalitis) | Populasi umum di 76 provinsi Thailand (tidak dibedakan berdasarkan usia), n: kasus dengue, malaria, chikungunya, Japanese encephalitis tahun 2003-2021 | Kelembapan absolut, Kelembapan relatif, Suhu (termasuk suhu ekstrem), total presipitasi, polusi udara (konsentrasi SO ₂ , PM _{2.5} , dan CO) | Perbandingan terhadap nilai rata-rata, perbandingan spasiotemporal antar provinsi | Insiden kasus dengue, malaria, chikungunya, dan Japanese encephalitis | <ul style="list-style-type: none"> Peningkatan kelembapan absolut berhubungan positif dengan angka insiden Chikungunya, Dengue, dan Japanese encephalitis Peningkatan kelembapan relatif berhubungan negatif dengan insiden malaria dan dengue Total presipitasi di atas nilai rata-rata berhubungan positif dengan angka insiden Chikungunya, Dengue, Japanese encephalitis, dan malaria Suhu ekstrem (di atas 27°C) berhubungan negatif dengan insiden chikungunya, Japanese encephalitis, dengue, dan malaria Peningkatan konsentrasi SO₂ dan PM_{2.5} di permukaan berhubungan negatif dengan insiden malaria dan dengue. |

PEMBAHASAN

Pembahasan ini menyajikan sintesis komprehensif mengenai peran berbagai determinan iklim dan lingkungan terhadap dinamika penyakit tular vektor di kawasan Asia Tenggara. Berdasarkan hasil ekstraksi tujuh studi yang diinklusi, analisis difokuskan pada komponen utama iklim (meliputi suhu, kelembapan, curah hujan, serta variabel ekstrem seperti gelombang panas dan kondisi kering/basah) serta faktor lingkungan (polusi udara, vegetasi peri-urban, dan kepadatan penduduk). Pendekatan ini memungkinkan identifikasi pola hubungan yang konsisten maupun heterogen, termasuk efek nonlinier, ambang biologis, serta efek tertunda (*lag effect*) yang memengaruhi transmisi.

Pengaruh suhu terhadap penyakit tular vektor

Sintesis dari empat studi menunjukkan bahwa suhu merupakan determinan iklim yang signifikan terhadap dinamika penyakit tular vektor di Asia Tenggara, namun hubungan yang ditemukan bersifat nonlinier dan kontekstual.^{15,16,19,21} Studi di Singapura oleh Seah et al. (2021) menunjukkan pola parabola antara suhu udara maksimum dan insidensi dengue, di mana peningkatan suhu 1°C dari 31°C justru menurunkan risiko kumulatif dengue sebesar 13,1% (RR 0,868; 95% CI 0,798–0,946).¹⁵ Selain itu, studi tersebut juga menemukan bahwa minggu dengan tiga hari gelombang panas dikaitkan dengan penurunan risiko sebesar 28,3% dibandingkan dengan minggu tanpa gelombang panas. Temuan ini mengindikasikan bahwa suhu ekstrem yang melampaui kisaran optimal biologis vektor dapat menurunkan kelangsungan hidup atau kapasitas transmisi *Aedes aegypti*.

Hasil serupa juga terlihat pada studi nasional di Thailand oleh Tewari et al. (2023), yang melaporkan bahwa suhu ekstrem di atas 27°C berhubungan negatif dengan insidensi dengue, malaria, chikungunya, dan Japanese encephalitis.²¹

Sebaliknya, dalam konteks malaria di Kalimantan Timur, Ridha et al. (2022) menemukan bahwa suhu bulanan berkorelasi negatif dengan kasus *Plasmodium vivax* yang mengindikasikan bahwa peningkatan suhu tertentu dapat menekan transmisi malaria.¹⁶ Namun, pada tingkat nasional di Indonesia, Akbar et al. (2025) menunjukkan bahwa suhu rata-rata tahunan berhubungan signifikan dengan mortalitas dengue ($p = 0,049$), meskipun kekuatan asosiasinya relatif moderat ($R^2 = 0,212$).¹⁹

Secara keseluruhan, studi-studi tersebut menunjukkan bahwa suhu berperan sebagai faktor ambang (*threshold-dependent determinant*) dalam transmisi penyakit tular vektor. Temuan penurunan risiko dengue pada suhu tinggi bukan merupakan kontradiksi, melainkan menunjukkan bahwa peningkatan suhu akibat perubahan iklim tidak selalu berarti peningkatan risiko penyakit secara linear namun berpola kurva *inverted U*. Peningkatan suhu dalam rentang optimal dapat mempercepat siklus hidup vektor, meningkatkan frekuensi gigitan nyamuk (*biting*), dan pemendekan periode inkubasi. Sedangkan suhu ekstrem tinggi akan meningkatkan mortalitas vektor, gangguan perkembangan larva, serta penurunan viabilitas virus/parasit.

Pengaruh kelembapan udara terhadap penyakit tular vektor

Tiga studi menunjukkan bahwa kelembapan, baik absolut maupun relatif, memiliki peran penting dalam dinamika penyakit tular vektor, meskipun arah asosiasinya tidak sepenuhnya seragam.^{16,17,21} Studi Ridha et al. (2022) di Kalimantan Timur melaporkan bahwa kelembapan relatif berhubungan positif dengan peningkatan kasus malaria *Plasmodium vivax*, dengan pola musiman yang jelas pada periode Desember–Maret.¹⁶ Temuan ini mendukung hipotesis biologis bahwa kelembapan tinggi memperpanjang umur nyamuk *Anopheles*, mengurangi risiko dehidrasi, serta meningkatkan peluang penyelesaian masa inkubasi

ekstrinsik parasit. Sejalan dengan itu, Sutriyawan (2024) di Bandung menemukan hubungan signifikan antara kelembapan dan prevalensi dengue ($r = 0,67$; $p = 0,018$), yang menunjukkan bahwa kondisi udara lebih lembap berkontribusi terhadap peningkatan transmisi *Aedes aegypti*.¹⁷

Hasil yang lebih kompleks ditunjukkan pada studi oleh Tewari et al. (2023) di Thailand. Studi tersebut membedakan antara kelembapan absolut dan kelembapan relatif, dimana peningkatan kelembapan absolut berasosiasi positif dengan insidensi chikungunya, dengue, dan Japanese encephalitis, sementara kelembapan relatif menunjukkan hubungan negatif terhadap insidensi malaria dan dengue.²¹ Kelembapan absolut mengacu pada jumlah uap air yang terkandung dalam udara (biasanya dinyatakan dalam gram per meter kubik) sehingga merefleksikan ketersediaan air aktual di lingkungan yang secara langsung memengaruhi kelangsungan hidup dan aktivitas vektor. Sebaliknya, kelembapan relatif merupakan persentase perbandingan antara jumlah uap air yang ada dengan kapasitas maksimum udara pada suhu tertentu, sehingga sangat dipengaruhi oleh fluktuasi suhu dan tidak selalu mencerminkan kondisi kelembapan aktual. Perbedaan karakteristik ini dapat menjelaskan mengapa kelembapan absolut menunjukkan asosiasi yang lebih konsisten dengan peningkatan risiko penyakit tular vektor, sementara kelembapan relatif dapat menunjukkan arah hubungan yang berbeda tergantung pada kondisi suhu dan interaksi variabel iklim lainnya.

Secara epidemiologis, temuan ini mengindikasikan bahwa penggunaan kelembapan absolut dalam model prediksi berpotensi memberikan estimasi risiko yang lebih stabil dan akurat dibandingkan kelembapan relatif, khususnya dalam konteks perubahan iklim yang ditandai oleh fluktuasi suhu yang signifikan. Selain itu, dapat diketahui bahwa respons setiap penyakit terhadap faktor kelembapan bersifat spesifik dan kontekstual, bergantung pada jenis indikator

kelembapan, spesies vektor, serta interaksinya dengan suhu dan curah hujan.

Pengaruh curah hujan (total presipitasi) terhadap penyakit tular vektor

Empat studi yang ada menunjukkan bahwa curah hujan (total presipitasi) memiliki pengaruh yang penting, namun heterogen terhadap dinamika penyakit tular vektor di Asia Tenggara.^{16,17,19,21} Studi Ridha et al. (2022) di Kalimantan Timur memasukkan curah hujan bulanan sebagai variabel dalam model malaria. Meskipun pola musiman teridentifikasi pada periode Desember–Maret, hubungan curah hujan tidak ditunjukkan sebagai determinan yang paling konsisten dibandingkan dengan kelembapan dan suhu.¹⁶ Studi Sutriyawan (2024) di Bandung menunjukkan bahwa variasi iklim secara simultan memengaruhi prevalensi DBD, namun curah hujan secara individual tidak dilaporkan sebagai faktor paling dominan.¹⁷

Tewari et al. (2023) di Thailand menunjukkan bahwa presipitasi di atas rata-rata berasosiasi dengan peningkatan insidensi dengue, malaria, chikungunya, dan Japanese encephalitis, sejalan dengan mekanisme ekologis bahwa curah hujan meningkatkan ketersediaan habitat larva dan kepadatan vektor. Sebaliknya, Akbar et al. (2025) tidak menemukan hubungan signifikan antara curah hujan tahunan dan mortalitas dengue di Indonesia.

Perbedaan temuan-temuan ini mencerminkan adanya *dual ecological effect*, dimana curah hujan bersifat fasilitatif melalui peningkatan *breeding site*, tetapi pada intensitas tinggi dapat bersifat inhibitif melalui *flushing effect* yang mengganggu kelangsungan larva. Selain itu, skala temporal turut menentukan kekuatan asosiasi, dengan analisis bulanan lebih sensitif terhadap insidensi dibandingkan agregasi tahunan yang cenderung mengaburkan hubungan. Secara epidemiologis, curah hujan tidak dapat diposisikan sebagai indikator tunggal, melainkan harus diinterpretasikan secara nonlinier dengan mempertimbangkan

intensitas, distribusi temporal, serta interaksinya dengan faktor perilaku manusia dan lingkungan lokal.

Variabel iklim lain: kecepatan angin, gelombang panas, dan kondisi kering/basah ekstrem

Selain suhu, kelembapan, dan curah hujan, beberapa studi juga menyoroti peran variabel iklim lain yang bersifat spesifik maupun ekstrem dalam memengaruhi dinamika penyakit tular vektor. Sutriyawan (2024) menemukan bahwa kecepatan angin berhubungan negatif dengan prevalensi DBD di Bandung ($r = -0,63$; $p = 0,028$).¹⁷ Temuan ini mengindikasikan penurunan transmisi tular vektor terjadi melalui hambatan aktivitas terbang dan frekuensi menggigit *Aedes aegypti*, meskipun variabel ini berperan sebagai modulator dan bersifat kontekstual.

Pada kejadian iklim ekstrem, Seah et al. (2021) melaporkan efek inhibitif gelombang panas terhadap risiko dengue, sementara Ith et al. (2025) justru menemukan peningkatan risiko dengue (RR 1,28; 95% CI 1,19–1,38) pada paparan dengan durasi tertentu dengan efek *lag* sekitar dua bulan.^{15,20} Perbedaan ini memperkuat adanya hubungan nonlinier berbasis ambang tertentu, dimana paparan panas dalam durasi dan rentang tertentu masih meningkatkan populasi vektor sebelum mencapai titik ambang yang bersifat protektif.

Lebih lanjut, Ith et al. (2025) menunjukkan bahwa kekeringan ekstrem meningkatkan risiko dengue (RR 1,85; 95% CI 1,73–1,99), sedangkan kondisi basah ekstrem justru menurunkan risiko (RR 0,89; 95% CI 0,87–0,91).²⁰ Temuan ini mengimplikasikan terdapat faktor perilaku manusia dan ekologis yang turut berperan dalam transmisi penyakit. Kekeringan dapat mendorong praktik penyimpanan air rumah tangga yang meningkatkan habitat *Aedes*, sementara kondisi sangat basah dapat menghasilkan efek “*flushing*” pada habitat larva.

Implikasi Metodologis

Heterogenitas desain penelitian, metode analisis, serta definisi paparan dan *outcome* menjadi temuan penting dalam SLR ini. Sebagian besar studi masih menggunakan agregasi nilai bulanan atau tahunan sebagai indikator paparan iklim, sehingga kurang dapat menangkap efek *lag*, sementara hubungan antara perubahan iklim-penyakit bersifat dinamis dan temporal.

Selain itu, sebagian besar studi belum secara komprehensif mengendalikan variabel perancu noniklim, seperti faktor sosial ekonomi, mobilitas penduduk, kepadatan hunian, dan intervensi kesehatan masyarakat. Keterbatasan ini perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil, karena dapat memengaruhi kekuatan inferensi kausal dari hubungan yang diamati.

Implikasi Kebijakan dan Praktik Kesehatan Masyarakat

Hasil SLR ini memiliki implikasi penting bagi perumusan kebijakan kesehatan masyarakat dan strategi adaptasi perubahan iklim di Asia Tenggara. Suhu dan kelembapan yang konsisten berhubungan dengan penyakit tular vektor dapat dimanfaatkan untuk memperkuat sistem peringatan dini dan intervensi berbasis musim dengan menggabungkan data iklim dengan sistem surveilans.

Selain itu, peran lingkungan dan urbanisasi dalam memodulasi dampak iklim menunjukkan bahwa pengendalian penyakit tular vektor tidak dapat dilakukan secara sektoral, melainkan memerlukan pendekatan lintas sektor, termasuk perencanaan tata kota, pengelolaan lingkungan, dan kebijakan perubahan iklim. Dengan demikian, interpretasi temuan dalam SLR ini secara komprehensif menjadi poin penting dalam merumuskan strategi adaptasi dan kebijakan yang lebih efektif di era perubahan iklim.

Keterbatasan

Beberapa keterbatasan perlu dicatat dalam SLR ini. Pertama, jumlah studi yang memenuhi kriteria inklusi relatif terbatas, mencerminkan kurangnya penelitian yang secara spesifik mengkaji hubungan kuantitatif antara perubahan iklim dan penyakit tular vektor di Asia Tenggara. Kedua, pembatasan pada artikel berbahasa Inggris dan publikasi dalam rentang waktu tertentu berpotensi menyebabkan bias publikasi. Ketiga, heterogenitas metodologis antarstudi membatasi kemungkinan untuk melakukan meta-analisis kuantitatif.

Arah Penelitian Selanjutnya

Penelitian di masa mendatang perlu diarahkan pada studi longitudinal dan multi-negara yang mengintegrasikan faktor iklim, lingkungan, dan sosial ekonomi secara simultan. Pemanfaatan data resolusi tinggi, analisis spasiotemporal, serta pemodelan prediktif yang mempertimbangkan efek *time-lag* penting untuk memperkuat pemahaman dinamika dampak perubahan iklim terhadap penyakit tular vektor. Pendekatan ini diharapkan dapat mendukung perumusan kebijakan kesehatan masyarakat yang berbasis bukti dan berkelanjutan di kawasan Asia Tenggara.

KESIMPULAN

Dinamika penyakit tular vektor di Asia Tenggara dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara variabel iklim dan faktor lingkungan/ekologi. Hubungan ini tidak bersifat linear maupun tunggal, melainkan dipengaruhi oleh ambang biologis, interaksi multi-variabel, efek *time-lag*, serta heterogenitas kondisi ekologis lokal. Kompleksitas tersebut ditambah dengan tantangan perubahan iklim di Asia Tenggara menuntut penguatan sistem surveilans berbasis iklim dan kondisi lingkungan spesifik wilayah. Penelitian lanjutan yang lebih komprehensif melalui studi longitudinal dan multi-negara yang

menggabungkan faktor iklim dan non-iklim diperlukan guna menyediakan bukti ilmiah dalam mendukung kebijakan adaptasi perubahan iklim dan pengendalian penyakit tular vektor yang berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan UIN Maulana Malik Ibrahim Malang atas dukungan akademik, fasilitas penelitian, serta lingkungan ilmiah yang kondusif selama proses penyusunan dan penyelesaian karya ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ansah EW, Ankomah-Appiah E, Amoade M, Sarfo JO. Climate change, health and safety of workers in developing economies: A scoping review. *Journal of Climate Change and Health*. 2021. doi:10.1016/j.joclim.2021.100034
2. Ongoma V, Tabari H, editors. *Climate Impacts on Extreme Weather* [Internet]. Elsevier; 2022. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/C2020002935X> doi:10.1016/C2020-0-02935-X
3. Rocque RJ, Beaudoin C, Ndjaboue R, Cameron L, Poirier-Bergeron L, Poulin-Rheault RA, et al. Health effects of climate change: an overview of systematic reviews. *BMJ Open*. 2021 Jun 9;11(6):e046333. doi:10.1136/bmjopen-2020-046333
4. Zhong S, Huang C. Climate change and human health: Risks and responses. *Kexue Tongbao/Chinese Science Bulletin*. 2019;64(19). doi:10.1360/N972018-00898
5. Valentová A, Bostik V. Climate change and human health. *Military Medical Science Letters (Vojenske Zdravotnicke Listy)*. 2021. doi:10.31482/mmsl.2021.010

6. Wei S, Zhang T, Sun S, Liang Y, Zhou W, Li W, et al. The shift in Mosquito-borne diseases incidence across Asia-Pacific region (1992–2021): insights from an Age-Period-Cohort analysis using the global burden of disease study 2021. *BMC Public Health*. 2025 Oct 8;25(1):3373. doi:10.1186/s12889-025-24765-y
7. Mboi N, Syailendrawati R, Ostroff SM, Elyazar IR, Glenn SD, Rachmawati T, et al. The state of health in Indonesia's provinces, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet Glob Health*. 2022 Nov;10(11):e1632–45. doi:10.1016/S2214-109X(22)00371-0
8. Matlack M, Covert H, Shankar A, Zijlmans W, Wahid FA, Hindori-Mohangoo A, et al. A scoping review of current climate change and vector-borne disease literacy and implications for public health interventions. *Journal of Climate Change and Health*. 2024;15. doi:10.1016/j.joclim.2023.100295
9. Hensher M. Climate change, health and sustainable healthcare: The role of health economics. *Health Economics (United Kingdom)*. 2023;32(5). doi:10.1002/hec.4656
10. Aisyah DN, Sitompul D, Diva H, Tirmizi SN, Hakim L, Surya A, et al. The Changing Incidence of Malaria in Indonesia: A 9-Year Analysis of Surveillance Data. *Adv Public Health*. 2024 Jan 12;2024(1). doi:10.1155/adph/2703477
11. Filho WL, Scheday S, Boenecke J, Gogoi A, Maharaj A, Korovou S. Climate change, health and mosquito-borne diseases: Trends and implications to the pacific region. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(24). doi:10.3390/ijerph16245114
12. Peters E, Boyd P, Cameron LD, Contractor N, Diefenbach MA, Fleszar-Pavlovic S, et al. Evidence-based recommendations for communicating the impacts of climate change on health. *Transl Behav Med*. 2022;12(4). doi:10.1093/tbm/ibac029
13. JBI. Critical Appraisal Tools [Internet]. 2020 [cited 2026 Mar 2]. Available from: <https://jbi.global/critical-appraisal-tools>
14. Moola S, Munn Z, Tufanaru C, Aromataris E, Sears K, Sfetcu R, et al. Systematic reviews of etiology and risk. In: *JBI Manual for Evidence Synthesis* [Internet]. JBI; 2020 [cited 2026 Mar 2]. Available from: <https://synthesismanual.jbi.globe>
15. Seah A, Aik J, Ng LC, Tam CC. The effects of maximum ambient temperature and heatwaves on dengue infections in the tropical city-state of Singapore – A time series analysis. *Science of The Total Environment*. 2021 Jun;775:145117. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.145117
16. Ridha MR, Indriyati L, Juhairiyah J, Kusumaningtyas H. Malaria Incidence Trends and Their Association with Climatic Variables in East Kalimantan, Indonesia, 2014–2020. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 2022 Apr 28;14(2):130–8. doi:10.20473/jkl.v14i2.2022.130-138
17. Sutriyawan A, Kurniati N, Novianti N, Farida U, Yusanti L, Destriani SN, et al. Analysis of temperature, humidity, rainfall, and wind velocity on dengue hemorrhagic fever in Bandung municipality. *Russian Journal of Infection and Immunity*. 2024 Apr 28;14(1):155–62. doi:10.15789/2220-7619-AOT-2110

18. Herbreteau V, Maquart PO, Hoeun S, Doeurk B, Girond F, Boyer S. Spatio-temporal distribution and environmental determinants of dengue vectors in Phnom Penh, Cambodia. *PLoS Negl Trop Dis.* 2025 Oct 29;19(10):e0013667. doi:10.1371/journal.pntd.0013667
19. Ardiansyah Akbar K, Kumala Fatma R, Elamouri F, Rockstroh JK. Climate change and dengue Fever: A 14-year study of mortality trends during 2010–2023 in Indonesia. *Travel Med Infect Dis.* 2025 Sep;67:102893. doi:10.1016/j.tmaid.2025.102893
20. Ith S, Seposo X, Phy V, Tantrakarnapa K, Apostol GLC, Dhewantara PW, et al. Extreme weather events and dengue in Southeast Asia: A regionally-representative analysis of 291 locations from 1998 to 2021. Kamel MG, editor. *PLoS Negl Trop Dis.* 2025 Sep 4;19(9):e0012649. doi:10.1371/journal.pntd.0012649
21. Tewari P, Ma P, Gan G, Janhavi A, Choo ELW, Koo JR, et al. Non-linear associations between meteorological factors, ambient air pollutants and major mosquito-borne diseases in Thailand. Pei S, editor. *PLoS Negl Trop Dis.* 2023 Dec 27;17(12):e0011763. doi:10.1371/journal.pntd.0011763