

Literature Review: Prevention and Control of Malaria Transmission Through the Anopheles Mosquito Vector

Tinjauan Literatur: Pencegahan dan Pengendalian Penularan Malaria Melalui Vektor Nyamuk Anopheles

¹Sri Handayani, ²Nurul Syahrani Salahuddin, ¹Owildan Wisudawan B.

¹Departemen Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Hasanuddin

²Departemen Administrasi dan Kebijakan Kesehatan, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Hasanuddin

Abstract

The global distribution of malaria cases has increased by 14 million, with a corresponding increase in deaths of 69,000. The annual malaria case rate in people living within 1 km of a reservoir is 2.9 times higher than people living between 1 and 2 km and 19.9 times higher than those living 5 to 9 km from a reservoir. The purpose of this study was to determine the process of malaria transmission through Anopheles mosquitoes. This study used the literature review method with a sample of 7 scientific articles from Science Direct, Pubmed, Elsevier, and Google Scholar. Several species of Anopheles mosquitoes namely An. Maculatus, An. pseudowillmori, An. Jeyporiensis and An. Nitidus. Most Anopheles mosquitoes reside in rice fields, biting habits outside the home and peak biting almost throughout the night precisely at one o'clock in the morning. The etiology of malaria is caused by the parasites Plasmodium vivax, Plasmodium falciparum, Plasmodium malaria, Plasmodium ovale and Plasmodium knowlesi.

Keywords: Anopheles; Malaria; Bionomics; Transmission

Received:
November 11, 2024

Revised:
November 14, 2024

Accepted:
November 25, 2024

Abstrak

Distribusi kasus malaria secara global mengalami peningkatan sebanyak 14 juta, disertai kenaikan angka kematian sebesar 69.000. Tingkat kasus malaria tahunan pada orang yang tinggal dalam jarak 1 km dari waduk 2,9 kali lebih tinggi dibandingkan masyarakat yang tinggal antara 1 dan 2 km dan 19,9 kali lebih tinggi dibandingkan mereka yang tinggal 5 hingga 9 km dari waduk. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui proses penularan malaria melalui nyamuk Anopheles. Penelitian ini menggunakan metode literature review dengan sampel 7 artikel ilmiah yang berasal dari Science Direct, Pubmed, Elsevier dan Google Scholar. Beberapa spesies nyamuk Anopheles yaitu An. Maculatus, An. pseudowillmori, An. Jeyporiensis dan An. Nitidus. Kebanyakan Nyamuk Anopheles berada di sawah, kebiasaan menggigit di luar rumah dan puncak menggigit hampir di sepanjang malam tepatnya pada pukul satu dini hari. Etiologi malaria disebabkan oleh parasite Plasmodium vivax, Plasmodium falciparum, Plasmodium malariae, Plasmodium ovale dan Plasmodium knowlesi.

Kata Kunci: Anopheles, Malaria, Bionomik, Penularan

Pendahuluan

Malaria tetap menjadi salah satu penyakit menular yang memberikan tantangan besar dalam kesehatan global, terutama di wilayah tropis dan subtropis. Penyakit ini disebabkan oleh infeksi parasit *Plasmodium* yang ditularkan melalui gigitan nyamuk betina *Anopheles*. Berdasarkan data terbaru, kasus malaria secara global mengalami peningkatan signifikan sebesar 14 juta kasus pada tahun 2023, dengan angka kematian mencapai 69.000 jiwa (Singh et al., 2023). Tingginya beban penyakit ini menunjukkan perlunya perhatian lebih besar terhadap upaya pengendalian dan pencegahan yang efektif.

Peningkatan kasus malaria sering kali terjadi pada musim hujan, antara bulan Oktober hingga April, ketika kondisi lingkungan mendukung perkembangbiakan nyamuk *Anopheles*. Namun, beberapa penelitian mengindikasikan bahwa perbedaan kejadian malaria antara musim hujan dan kemarau tidak signifikan, menunjukkan kemampuan adaptasi nyamuk dalam berbagai kondisi lingkungan (Lestari et al., 2020). Risiko penularan juga dipengaruhi oleh kedekatan tempat tinggal dengan sumber air. Studi menunjukkan bahwa individu yang tinggal dalam radius 1 km dari waduk memiliki risiko 2,9 kali lebih tinggi terkena malaria dibandingkan mereka yang tinggal pada radius 1–2 km, dan 19,9 kali lebih tinggi dibandingkan radius 5–9 km (Suyono et al., 2021).

Nyamuk *Anopheles* memanfaatkan berbagai jenis habitat perindukan, seperti danau, embung, kolam, parit, sawah, mata air, serta genangan air permanen maupun temporer. Tempat perindukan permanen adalah lokasi yang selalu tergenang air, sedangkan tempat temporer hanya

tergenang pada kondisi tertentu, seperti setelah hujan. Faktor lingkungan ini sangat memengaruhi populasi nyamuk dan risiko penularan malaria. Selain itu, perilaku nyamuk yang lebih sering ditemukan di luar rumah, baik saat hinggap di manusia maupun saat beristirahat, memberikan tantangan tambahan dalam pengendalian (Pahlepi et al., 2023).

Secara etiologis, malaria disebabkan oleh lima jenis parasit *Plasmodium*, yaitu *Plasmodium falciparum*, *Plasmodium vivax*, *Plasmodium malariae*, *Plasmodium ovale*, dan *Plasmodium knowlesi* (Puetri et al., 2021). Penularan terjadi ketika nyamuk betina *Anopheles* yang terinfeksi menggigit manusia untuk menghisap darah, memungkinkan parasit masuk ke dalam tubuh inangnya.

Pengendalian malaria membutuhkan pendekatan komprehensif yang mencakup intervensi berbasis komunitas dan teknologi. Penggunaan kelambu berinsektisida, penyemprotan residu insektisida di dalam ruangan (Indoor Residual Spraying), dan penerapan larvasida pada habitat perindukan nyamuk merupakan langkah-langkah utama. Selain itu, penguatan surveilans, diagnosis dini, pengobatan efektif, serta edukasi masyarakat mengenai pengelolaan lingkungan menjadi elemen kunci dalam strategi pencegahan malaria.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji mekanisme penularan malaria melalui nyamuk *Anopheles*, dengan menyoroti karakteristik biologis, habitat, perilaku, dan dinamika penularannya. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk merancang strategi pengendalian malaria yang lebih efektif, khususnya di daerah endemis, guna

melindungi masyarakat dari ancaman kesehatan yang serius.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah literature review. Sumber data yang digunakan berasal dari Science Direct, Pubmed, Elsevier dan Google Scholar. Pencarian artikel ilmiah menggunakan kata kunci: malaria, karakteristik Anopheles, klasifikasi Anopheles, morfologi Anopheles, bionomik Anopheles, kepadatan Anopheles, etiologi malaria, penularan malaria. Artikel yang dicari sebagai sumber literature review

dicari dari tahun 2020 – 2024 karena pembaruan data. Kriteria inklusi sumber data (artikel ilmiah) terindeks scopus yang dokumennya dapat diakses dan full text serta jika dicari Scopus Q1 – Q4. Kriteria eksklusi sumber artikel berupa literature review, skripsi dan sejenisnya, laporan, makalah, power point, hanya berupa abstrak, teks tidak lengkap dan artikel publikasi ganda. Sampel penelitian ini sebanyak 7 artikel yang memuat informasi mengenai karakteristik nyamuk Anopheles, klasifikasi Anopheles, bionomik nyamuk Anopheles, etiologi/penyebab malaria dan penularan malaria.

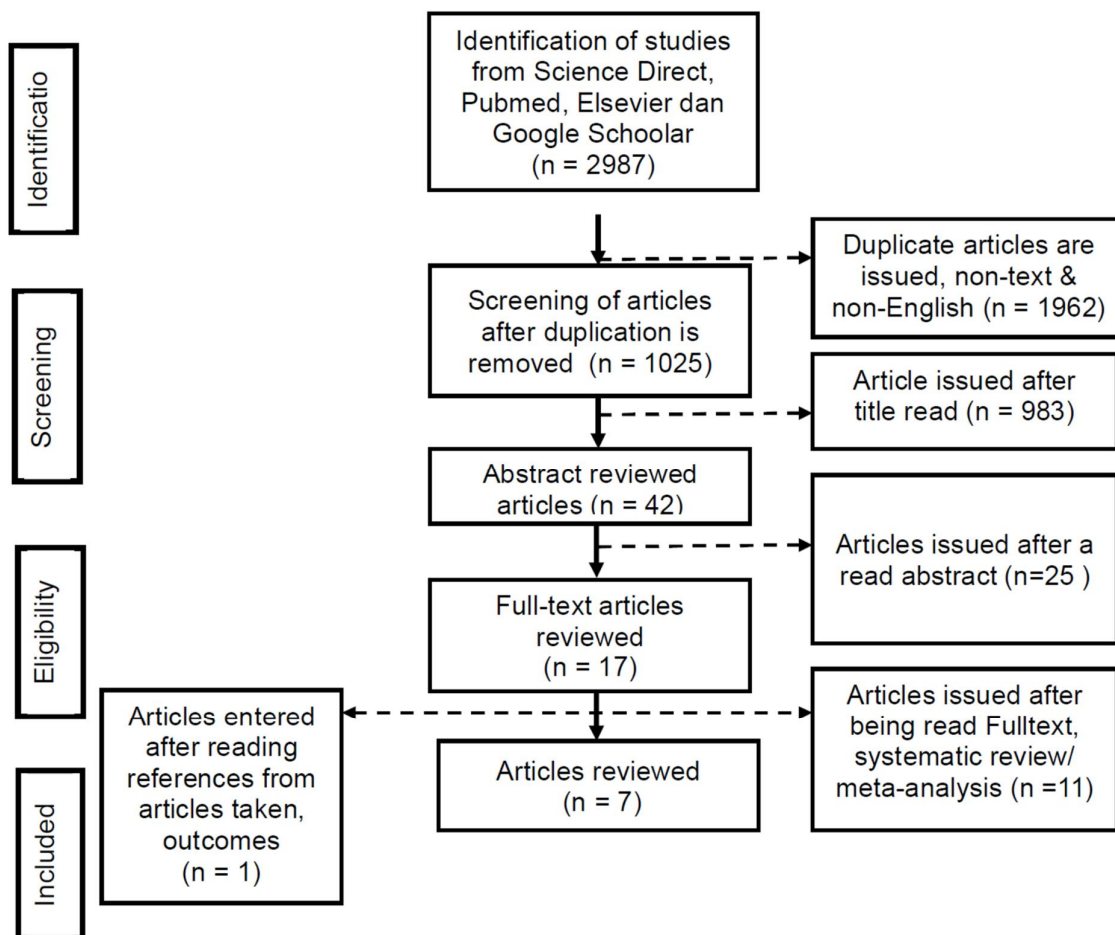


Figure 1. Flow chart Literature

Hasil

Penelitian ini mengidentifikasi berbagai strategi yang telah diimplementasikan dalam pencegahan dan pengendalian malaria berdasarkan literatur yang relevan. Secara umum disajikan dalam tabel 1. Berdasarkan hasil kajian literatur, pencegahan dan pengendalian malaria melalui vektor *Anopheles* melibatkan pemahaman mendalam tentang karakteristik, bionomik, dan dinamika penularan nyamuk tersebut.

Keanekaragaman Genetik dan Distribusi Spesies

Studi menunjukkan adanya variasi genetik rendah pada spesies seperti *Anopheles nuneztovari* dan *Anopheles albimanus*, yang memungkinkan aliran gen tinggi antarpopulasi. Hal ini mengindikasikan potensi penyebaran yang luas, terutama di daerah dengan ekosistem serupa.

Peningkatan Risiko Malaria Akibat Perubahan Ekologi

Kehadiran spesies invasif seperti *Anopheles stephensi* di Ethiopia menunjukkan dampak signifikan pada peningkatan kasus malaria, terutama di daerah urban. Faktor lingkungan seperti perubahan suhu, kecepatan angin, dan lokasi waduk juga memengaruhi dinamika populasi nyamuk dan risiko penularan malaria.

Efektivitas Metode Pengendalian

Penggunaan kelambu berinsektisida, penyemprotan residu insektisida di dalam ruangan, dan edukasi lingkungan terbukti efektif menekan populasi nyamuk dan kasus malaria. Namun, resistensi insektisida pada beberapa spesies seperti *Anopheles gambiae* menuntut pengembangan strategi pengendalian baru.

Tabel 1. Hasil Kajian Literatur Pencegahan dan Pengendalian Malaria

| No | Judul Author/Tahun | Metode | Hasil Penelitian |
|----|---|---|--|
| 1 | Genetic diversity and phylogeny of <i>Anopheles nuneztovari</i> C and <i>Anopheles albimanus</i> , vectors of malaria in the department of Córdoba, Colombia Atencia-Pineda, María Claudia et al. (2023) | Identifikasi taksonomi menggunakan karakter morfologi, ekstraksi DNA dan PCR untuk amplifikasi gen COI. | Ditemukan 67 individu <i>An. nuneztovari</i> dan 22 individu <i>An. albimanus</i> . 9 haplotipe untuk <i>An. nuneztovari</i> dan 14 untuk <i>An. albimanus</i> . Rendahnya diferensiasi genetik ($F_{ST} \leq 0,05$) dan aliran gen yang tinggi antara populasi. Pohon filogenetik menunjukkan garis keturunan mitokondria yang sama di beberapa daerah. |
| 2 | The potential impact of <i>Anopheles stephensi</i> establishment on the transmission of <i>Plasmodium falciparum</i> in Ethiopia and prospective control measures Arran Hamlet et al. (2022) | Penelitian ini menggunakan model mekanistik transmisi malaria yang telah ada untuk memperkirakan peningkatan kepadatan vektor yang diperlukan untuk menjelaskan tren kasus malaria di Djibouti. | Penelitian memperkirakan bahwa kasus malaria <i>P. falciparum</i> tahunan dapat meningkat hingga 50% jika tidak ada intervensi tambahan. Implementasi langkah-langkah pengendalian yang memadai untuk mengurangi transmisi malaria ke tingkat sebelum kedatangan <i>A. stephensi</i> diperkirakan akan memerlukan biaya ratusan juta USD. Terdapat juga |

| | | | |
|---|--|---|--|
| | | | heterogenitas yang besar di seluruh negara dalam proyeksi dampak publik kesehatan. |
| 3 | Characteristics of Plasmodium knowlesi Malaria Based on the Results of PCR Examinations in Aceh Besar District N.R Puetri, et. all.(2020) | Jenis penelitian deskriptif dengan desain cross-sectional | Jumlah sampel sebanyak 39 sampel dengan total sampel PCR positif sebanyak 16 sampel yang terdiri dari 81,3% berjenis kelamin laki-laki (13 orang), 62,5% dewasa (10 orang), 56,3% pekerja (9 orang), 75% penduduk asli (12 orang) dan 81,3% masyarakat Puskesmas Lembah Seulawah (13 orang). |
| 4 | Quantifying Spatial Heterogeneity of Malaria in the Endemic Papua Region of Indonesia: Analysis of Epidemiological Surveillance Data N Ihsan Fadilah, et. All(2021) | Analisis data surveilans malaria tingkat individu untuk hampir setengah juta kasus (2019-2020) yang dilaporkan di provinsi Papua dan Papua Barat, mengadaptasi pendekatan indeks Gini untuk mengukur heterogenitas spasial di tingkat kabupaten dan unit kesehatan. Menunjukkan tren kejadian malaria dan distribusi spasial serta temporal karakteristik sosiodemografi dan di antara kasus etiologikal parasit. | Provinsi Papua menyumbang sebagian besar kasus malaria dan mengalami peningkatan penularan sejak tahun 2015 tetapi Provinsi Papua Barat masih mempertahankan angka kejadian malaria yang relatif rendah. Wilayah dengan tingkat intensitas penularan yang berbeda-beda menunjukkan karakteristik yang berbeda juga. Malaria tersebar secara tidak proporsional di seluruh wilayah sehingga menekankan perlunya intervensi yang ditargetkan secara spasial. |
| 5 | Bionomik Anopheles spp. di Kecamatan Sindang Beliti Ulu Kabupaten Rejang Lebong Provinsi Bengkulu Tahun 2021 Pahlepi et al. 2023 | Jenis penelitian ini observasional dengan desain deskriptif analitik dan pendekatan cross-sectional. Kegiatan yang dilakukan meliputi survei habitat perkembangbiakan nyamuk, penangkapan nyamuk di dalam dan di luar rumah serta di kandang ternak dan pengujian kelambu berinsektisida | Survei habitat menemukan larva An. vagus dan An. barbirostris di kolam dan sawah. Nyamuk Anopheles tertangkap sebanyak 164 ekor terdiri dari tujuh spesies, empat di antaranya merupakan spesies nyamuk yang telah terkonfirmasi sebagai vektor malaria, yaitu An.maculatus, An. tessellatus, An. kochi dan An. vagus. Nyamuk yang dominan tertangkap yaitu An. vagus. Hasil pengujian PCR tidak mendapatkan nyamuk positif Plasmodium. |
| 6 | Bionomic characterization of Anopheles mosquitoes in the Ethiopian highlands and lowlands Esayas, E. 2024. | Pusat Pengendalian dan Pencegahan Penyakit (CDC) menggunakan perangkap cahaya setiap jam di dalam dan di luar ruangan selama musim penularan malaria puncak (Oktober hingga | Di dataran tinggi, 4697 nyamuk Anopheles dari 13 spesies dikumpulkan. Di dataran tinggi, spesies Anopheles yang paling banyak ditemukan adalah An. gambiaesensu lato (sl) (N=1970, 41,9%). Spesies berikutnya adalah An. demeilloni (N=1133, 24,1%) dan An. cinereus (N=520, |

| | | | |
|---|---|--|---|
| | | <p>Desember 2022) dan musim penularan malaria minor (Maret hingga Mei 2023). Musim hujan yang panjang dan pendek terjadi di musim-musim ini. Sampel dari delapan rumah tangga penduduk berasal dari empat desa di dataran tinggi, dan delapan rumah tangga atau bangunan pertanian yang terletak di dekat pertanian di empat desa di dataran rendah. Sampel diambil antara pukul 18:00 dan 06:00</p> | <p>11,0%). Di desa dataran rendah, 3220 nyamuk dari 18 spesies morfologi dikumpulkan. Spesies yang mendominasi adalah <i>Anopheles gambiae</i> (N=1190, 36,9%), <i>Anopheles pretoriensis</i> (N=899, 27,9%), dan <i>An. demeilloni</i> (N=564, 17,5%). Sebanyak 20 spesies diidentifikasi secara molekuler, dan tiga di antaranya tidak dapat ditemukan melalui perbandingan dengan sekuens yang dipublikasikan. Di desa-desa dataran tinggi, tingkat penangkapan nyamuk <i>Anopheles</i> di luar ruangan jauh lebih tinggi dibandingkan tingkat di dalam ruangan. Di desa-desa dataran rendah, tren ini berbalik, di mana tingkat penangkapan di dalam ruangan lebih rendah daripada di luar ruangan. Baik dataran tinggi maupun dataran rendah, nyamuk <i>Anopheles</i> menunjukkan aktivitas menggigit lebih awal di sore hari, yang mencapai puncaknya antara pukul 18.00 dan 21.00, baik di lokasi dalam maupun luar ruangan.</p> |
| 7 | <p>Environmental Determinants of Malaria Transmission Around the Koka Reservoir in Ethiopia Noriko Endo dan Elfatih A.B. Eltahir 2020</p> | <p>Survey Dengan penelitian di bidang Hidrologi, Entomologi, dan dan Malaria Transmission Simulator.</p> | <p>Penelitian ini mengidentifikasi mekanisme lingkungan utama yang mempengaruhi penularan malaria di sekitar waduk, termasuk profil angin, kolam marjinal, suhu, dan lokasi garis pantai. Pemahaman tentang faktor-faktor ini dapat membantu dalam memprediksi musim penularan malaria dan mengembangkan strategi relokasi desa setelah pembangunan bendungan untuk meminimalkan risiko malaria. Hasil penelitian ini menekankan pentingnya pertimbangan kesehatan dalam perencanaan dan pengelolaan proyek bendungan di daerah endemik malaria.</p> |

Pembahasan

Keanekaragaman Genetik dan Distribusi Spesies

Keanekaragaman genetik memainkan peran penting dalam evolusi spesies nyamuk *Anopheles*, yang merupakan vektor utama penyebaran malaria. Sebagai contoh, studi oleh Atencia-Pineda et al. (2023)

menemukan bahwa spesies nyamuk *Anopheles nuneztovari* dan *Anopheles albimanus* memiliki variasi genetik yang relatif rendah, yang menunjukkan adanya aliran gen yang tinggi antar populasi. Ini berarti bahwa individu-individu dari berbagai populasi memiliki tingkat kesamaan genetik yang lebih tinggi,

memungkinkan mereka untuk berbagi gen yang penting dalam proses adaptasi dan ketahanan terhadap berbagai kondisi lingkungan. Aliran gen yang tinggi ini dapat mempercepat penyebaran spesies tersebut ke wilayah yang lebih luas, terutama di daerah-daerah dengan ekosistem yang serupa, seperti daerah tropis dan subtropis. Keberadaan kedua spesies ini di berbagai wilayah menunjukkan betapa pentingnya faktor ekologi dalam menentukan distribusi spesies, serta bagaimana kondisi yang serupa mendukung keberlangsungan hidup nyamuk ini.

Hal ini berimplikasi pada potensi penyebaran malaria, karena kedua spesies tersebut merupakan vektor utama bagi parasit *Plasmodium* penyebab malaria. Keanekaragaman genetik yang rendah pada spesies *An. nuneztovari* dan *An. albimanus* memungkinkan mereka untuk berkembang biak dengan cepat dalam lingkungan yang mendukung, seperti genangan air yang terbentuk di sawah atau kolam. Sebagai vektor yang efisien, penyebaran mereka di berbagai wilayah dapat memperburuk angka kejadian malaria. Ditambah lagi, variasi genetik yang rendah berhubungan dengan kemampuan nyamuk untuk beradaptasi dengan cepat terhadap intervensi pengendalian, seperti insektisida atau larvasida. Hal ini menyebabkan tantangan besar dalam upaya pengendalian, karena nyamuk dengan keragaman genetik yang rendah cenderung lebih rentan terhadap tekanan seleksi, seperti resistensi terhadap bahan kimia yang digunakan untuk membasmi mereka (Atencia-Pineda et al., 2023).

Selain itu, aliran gen yang tinggi juga meningkatkan potensi spesies ini untuk berkembang biak di berbagai area geografis. Fenomena ini, yang dikenal sebagai ekspansi

geografis, memungkinkan spesies nyamuk *An. nuneztovari* dan *An. albimanus* untuk menempati habitat baru yang mungkin sebelumnya tidak terjangkau. Dengan adanya aliran gen antar populasi, spesies ini dapat membawa serta gen-gen yang mendukung ketahanannya terhadap perubahan kondisi lingkungan dan pengendalian, memperburuk penyebaran penyakit di daerah-daerah yang tidak memiliki pengalaman sebelumnya dengan malaria. Oleh karena itu, penting untuk memonitor dan memahami dinamika genetik dari vektor malaria untuk merancang strategi pengendalian yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Penelitian yang dilakukan oleh Atencia-Pineda et al. (2023) juga menunjukkan pentingnya pemahaman tentang filogeni atau pohon keluarga genetik dari spesies nyamuk ini. Dalam studi mereka, spesimen yang dikumpulkan dari beberapa wilayah menunjukkan hubungan filogenetik yang erat, yang memperkuat dugaan bahwa *An. nuneztovari* dan *An. albimanus* dapat dengan mudah berpindah antar wilayah yang memiliki ekosistem yang sama, mempercepat penyebaran parasit penyebab malaria. Filogeni ini juga memberikan informasi penting tentang potensi perubahan adaptif dan evolusi spesies tersebut seiring dengan perubahan iklim atau modifikasi habitat yang terjadi.

Peningkatan Risiko Malaria Akibat Perubahan Ekologi

Peningkatan risiko malaria akibat perubahan ekologi adalah isu penting dalam studi pengendalian penyakit ini. Perubahan iklim dan transformasi ekosistem, seperti deforestasi dan urbanisasi, telah memperburuk kondisi yang mendukung keberlangsungan hidup vektor *Anopheles*,

yang merupakan penyebar utama parasit *Plasmodium* penyebab malaria. Penelitian oleh Endo dan Eltahir (2020) mengungkapkan bahwa perubahan faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan pola curah hujan berpengaruh langsung pada keberadaan dan dinamika populasi nyamuk *Anopheles*. Suhu yang lebih tinggi, misalnya, dapat mempercepat siklus hidup nyamuk dan parasit malaria, yang pada gilirannya meningkatkan tingkat penularan. Hal ini menegaskan bahwa perubahan iklim global memperburuk penyebaran malaria, terutama di daerah-daerah tropis yang sudah endemis malaria.

Salah satu faktor ekologi utama yang berperan dalam peningkatan risiko malaria adalah perubahan penggunaan lahan. Deforestasi, peralihan hutan menjadi lahan pertanian, dan perubahan penggunaan lahan lainnya telah mengubah habitat alami nyamuk *Anopheles*. Penelitian oleh Esayas et al. (2024) menunjukkan bahwa pembukaan lahan untuk pertanian, seperti penanaman padi, menciptakan habitat baru yang ideal untuk perkembangan larva nyamuk, terutama di daerah dataran rendah. Keberadaan genangan air yang terbentuk setelah hujan di sawah atau kolam merupakan tempat berkembang biak yang sangat cocok bagi nyamuk *Anopheles*. Oleh karena itu, perubahan ekosistem ini memberikan kesempatan lebih besar bagi nyamuk vektor untuk berkembang biak, meningkatkan kepadatan populasi, dan meningkatkan risiko penularan malaria di daerah yang sebelumnya mungkin tidak berisiko.

Urbanisasi juga menjadi faktor penting yang berkontribusi terhadap peningkatan risiko malaria. Sebagaimana dijelaskan oleh Hamlet et al. (2022), proses urbanisasi di beberapa negara berkembang meningkatkan

interaksi antara manusia dan vektor malaria di daerah perkotaan. Sebagai contoh, di wilayah perkotaan yang padat, tempat-tempat perindukan nyamuk sering ditemukan pada genangan air dari saluran pembuangan, tempat penampungan air, atau waduk buatan. Meskipun daerah perkotaan cenderung memiliki kontrol sanitasi yang lebih baik, mereka sering kali memiliki populasi nyamuk yang lebih besar karena ketersediaan tempat perindukan yang lebih banyak dan distribusi yang lebih tersebar. Hal ini menciptakan tantangan baru dalam pengendalian malaria, karena keberadaan nyamuk vektor di daerah perkotaan memperbesar kemungkinan penularan, terutama dengan pertumbuhan populasi manusia yang terus meningkat.

Perubahan iklim juga mempengaruhi distribusi geografis nyamuk *Anopheles*. Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian oleh Endo dan Eltahir (2020) menunjukkan bahwa fenomena pemanasan global telah menggeser wilayah endemis malaria ke daerah yang lebih tinggi dan lebih dingin. Perubahan suhu yang lebih hangat memungkinkan nyamuk *Anopheles* untuk bertahan di wilayah-wilayah yang sebelumnya tidak dapat dihuni oleh mereka, seperti di daerah dataran tinggi atau di luar wilayah tropis yang biasa mereka tempati. Hal ini tidak hanya meningkatkan jumlah kasus malaria di daerah-daerah baru, tetapi juga memperburuk tantangan bagi sistem kesehatan masyarakat untuk melacak dan mengendalikan penularan. Oleh karena itu, perubahan ekologi yang disebabkan oleh faktor iklim dan aktivitas manusia berkontribusi langsung terhadap penyebaran penyakit ini ke wilayah baru.

Efektivitas Metode Pengendalian

Efektivitas metode pengendalian

malaria sangat bergantung pada jenis intervensi yang digunakan dan bagaimana intervensi tersebut diterapkan di daerah endemis. Pengendalian vektor *Anopheles*, yang merupakan penyebar utama parasit *Plasmodium* penyebab malaria, memerlukan pendekatan yang komprehensif, yang mencakup penggunaan insektisida, pengelolaan habitat, dan pemantauan serta diagnosis kasus yang cepat dan efektif. Penelitian yang dilakukan oleh Pahlepi et al. (2023) menunjukkan bahwa kelambu berinsektisida (*Insecticide-Treated Nets*, ITNs) adalah salah satu metode yang paling efektif untuk mengurangi jumlah gigitan nyamuk pada manusia. Dalam studi mereka, penggunaan ITNs terbukti dapat mengurangi insiden malaria hingga 50%, terutama di daerah yang memiliki kepadatan nyamuk yang tinggi, seperti di daerah pedesaan dengan banyak tempat perindukan seperti sawah dan kolam. Kelambu yang dioleskan dengan insektisida memberikan penghalang fisik sekaligus kimiawi yang mencegah gigitan nyamuk, sehingga mengurangi paparan terhadap parasit malaria.

Selain penggunaan kelambu berinsektisida, penyemprotan residu insektisida di dalam ruangan (*Indoor Residual Spraying*, IRS) juga merupakan metode yang terbukti efektif dalam pengendalian vektor malaria. Menurut studi oleh WHO (2022), IRS dengan insektisida yang tahan lama seperti deltamethrin dapat mengurangi populasi nyamuk dalam rumah, bahkan setelah seminggu atau lebih. Penyemprotan pada dinding dan permukaan lainnya di dalam rumah memberikan efek jangka panjang, karena nyamuk yang terpapar insektisida akan mati atau terhambat kemampuannya untuk berkembang biak. IRS sangat efektif di

daerah dengan kepadatan rumah tinggi dan dalam kondisi lingkungan yang mendukung pertumbuhan populasi nyamuk. Namun, keberhasilan IRS sangat bergantung pada pemilihan insektisida yang tepat dan keberlanjutan program penyemprotan secara rutin.

Metode lain yang digunakan dalam pengendalian malaria adalah penerapan larvasida pada tempat-tempat perindukan nyamuk, yang dapat mengurangi jumlah larva yang berkembang menjadi nyamuk dewasa. Suyono et al. (2021) menyatakan bahwa penggunaan larvasida di tempat perindukan yang teridentifikasi, seperti genangan air permanen di sawah atau kolam, dapat menurunkan populasi nyamuk secara signifikan. Larvasida bekerja dengan membunuh larva nyamuk yang ada di dalam genangan air sebelum mereka tumbuh menjadi nyamuk dewasa yang dapat menggigit manusia. Metode ini lebih efektif jika dilakukan secara terintegrasi dengan upaya pengelolaan lingkungan, seperti pengeringan atau pengurasan tempat perindukan air yang tidak terpakai. Salah satu kelemahan penggunaan larvasida adalah potensi resistensi nyamuk terhadap bahan kimia tertentu jika digunakan secara berlebihan.

Namun, meskipun metode pengendalian seperti ITNs, IRS, dan larvasida terbukti efektif dalam mengurangi angka penularan malaria, tantangan besar tetap ada, terutama dalam hal resistensi insektisida. Resistensi terhadap insektisida telah menjadi masalah yang semakin meningkat, mengingat banyaknya jenis insektisida yang digunakan dalam pengendalian malaria. Penelitian oleh Kumar et al. (2024) menunjukkan bahwa resistensi terhadap kelas insektisida pyrethroids, yang digunakan dalam

kelambu berinsektisida dan IRS, semakin meluas di beberapa daerah endemis malaria di Afrika dan Asia. Resistensi ini menyebabkan penurunan efektivitas intervensi pengendalian vektor, yang pada gilirannya meningkatkan risiko penularan malaria.

Selain metode berbasis kimia, pendekatan berbasis lingkungan juga memiliki peran penting dalam pengendalian malaria. Pengelolaan habitat untuk mengurangi tempat perindukan nyamuk adalah strategi jangka panjang yang dapat membantu mengurangi populasi nyamuk. Lempang et al. (2023) menunjukkan bahwa program pengelolaan lingkungan, seperti mengeringkan genangan air yang tidak terpakai atau membuang sampah yang menampung air, dapat mengurangi keberadaan tempat perindukan nyamuk *Anopheles*. Pendekatan ini tidak hanya mencegah berkembangnya larva, tetapi juga mengurangi keberadaan nyamuk dewasa, yang pada gilirannya menurunkan risiko penularan. Namun, keberhasilan pengelolaan habitat tergantung pada kesadaran masyarakat dan partisipasi aktif dalam program-program pengendalian lingkungan.

Selain itu, penguatan sistem surveilans dan diagnosis dini juga sangat penting dalam pengendalian malaria. Deteksi kasus malaria yang cepat dan akurat memungkinkan pengobatan yang lebih efektif dan pencegahan penularan lebih lanjut. Penggunaan Rapid Diagnostic Tests (RDTs) telah terbukti mempercepat diagnosis malaria, terutama di daerah-daerah terpencil yang sulit dijangkau oleh fasilitas kesehatan. RDTs memungkinkan pemeriksaan malaria secara cepat dan dapat dilakukan di lapangan oleh petugas kesehatan tanpa memerlukan peralatan

laboratorium yang rumit. Diagnosis dini ini juga mengurangi kemungkinan infeksi *Plasmodium* menjadi lebih berat, yang dapat mengurangi angka kematian akibat malaria (Singh et al., 2023).

Kesimpulan

Pengendalian malaria melalui vektor *Anopheles* memerlukan pendekatan komprehensif yang meliputi penggunaan kelambu berinsektisida (ITNs), penyemprotan residu insektisida (IRS), dan aplikasi larvasida, yang terbukti efektif dalam mengurangi penularan malaria. Namun, resistensi insektisida yang semakin meningkat menjadi tantangan utama dalam upaya pengendalian, yang memerlukan diversifikasi strategi, termasuk pengelolaan habitat dan penggunaan insektisida yang lebih beragam. Pemahaman terhadap kebiasaan menggigit nyamuk dan habitat spesifiknya, serta penguatan sistem surveilans dan diagnosis dini, juga sangat penting untuk merancang intervensi yang lebih efektif. Meskipun berbagai metode telah terbukti efektif, tantangan tersebut menuntut pengembangan teknologi dan kebijakan pengendalian yang lebih berkelanjutan.

Referensi

- Endo, N., & Eltahir, E. A. B. 2020. Environmental Determinants of Malaria Transmission Around the Koka Reservoir in Ethiopia. *Science of the Total Environment*, 742, 140470. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140470>
- Ernest, Medars et.al. 2023. Plasmodium falciparum Gametes and Sporozoites Hijack Plasmin and Factor H To Evade Host Complement Killing. *Microbiology Spectrum*, 11 (3), 1-14.

- Esayas, E. "Bionomic Characterization of Anopheles Mosquitoes in the Ethiopian Highlands and Lowlands." *Parasites and Vectors*, vol. 17, no. 1, 2024, <https://doi.org/10.1186/s13071-024-06378-3>.
- Fadilah, Ihsan et. all. Quantifying spatial heterogeneity of malaria in the endemic Papua region of Indonesia: Analysis of epidemiological surveillance data. *The Lancet Regional Health-Southeast Asia*, Volume 5, 1-15.
- Hamlet, Arran et. all. 2022. The potential impact of *Anopheles stephensi* establishment on the transmission of *Plasmodium falciparum* in Ethiopia and prospective control measures. *BMC Medicine*.
- Kittichai, Veerayuth et. all. 2023. Automatic Identification of Medically Important Mosquitoes Using Embedded Learning Approach based Image retrieval System. *Scientific Reports*, 1-19.
- Kumar, Jatin et. all. 2024. A Cub and Sushi Domain Containing Protein with Esterase Like Activity Confers insecticide Resistance in Indian Malaria Vector- *Anopheles Stephensi*. *Journal Pre-proof*.
- Lempong, Meyby Eka Putri et. all. 2023. Diversity of *Anopheles* species and zoonotic malaria vector of the Buton Utara Wildlife Sanctuary, Southeast Sulawesi, Indonesia. *Malaria Journal*, 1-10.
- Mwangga, Emmanuel P. et. all. 2024. Rapid Classification of Epidemiologically Relevant Age Categories of the Malaria Vector, *Anopheles funestus*. *Parasites & Vectors*, 1-9.
- Namountougou, Moussa et. all. 2019. Insecticide resistance mechanisms in *Anopheles gambiae* complex populations from Burkina Faso, West Africa. *Acta Tropica*.
- Odero, Joel O. et. all. 2023. Advances in the Genetic Characterization of the Malaria Vector, *Anopheles funestus*, and Implications for Improved Surveillance and Control. *Malaria Journal*, 1-14.
- Pahlepi, A. et al. (2023). Bionomik *Anopheles* spp. di Kecamatan Sindang Beliti Ulu Kabupaten Rejang Lebong Provinsi Bengkulu Tahun 2021. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 17(3), 98-106.
- Singh, Mrigendra P. et. all. 2023. A Comparative Assessment of the Community Frontline Health Workers for Their Knowledge and Practices of Malaria Diagnosis and Treatment in Three Contiguous Districts Mandla, Balaghat and Dindori Of Madhya Pradesh, India. *Malaria Journal*, 22-26.
- Singh, Upasana Shyamsunder et. all. 2023. Characterisation of *Anopheles* Species Composition and Genetic Diversity in Meghalaya, Northeast India, Using Molecular Identification Tools. *Infection, Genetics and Evolution*, 1-11.
- Suyono, et al. (2021). Epidemiologi dan Pengendalian Malaria di Daerah Endemis. *Jurnal Penelitian Kesehatan*, 29(2), 123-134.
- World Health Organization (WHO). (2022). *World Malaria Report 2022*. Geneva: World Health Organization.
- Yared, Solomon et. all. 2020. Insecticide resistance in *Anopheles stephensi* in Somali Region, eastern Ethiopia. *Malaria Journal*.