

Book Chapter Health Science Series



Chapter 2 Pengendalian Vektor



Penerbit



HS Udinus

Health Sains Udinus



Book Chapter Health Series – Chapter 2

Pengendalian Vektor

Editor

Suharyo, M.Kes

Reviewer

Dr. Nurjanah, M.Kes

Dr. Eti Rimawati, M.Kes

Dr. dr. Zaenal Sugiyanto, M.Kes

Dr. Adian Khoironi ST, M.Si

Dr. Poerna Sri Oetari, S.Si, M.Si.Ling

Dr. Eni Mahawati, M.Kes

Dr. Drs. Slamet Isworo, M.Kes

Dr. MG Catur Yuantari, SKM, M.Kes

Dr. Supriyono Asfawi S.E, M.Kes

Dr. Respati Wulandari, M.Kes

Desain Sampul

Puput Nur Fajri, S.KM

Tata Letak

Puput Nur Fajri, S.KM

IT

Oki Setiono, M.Kom

Publikasi

Syifa Sofia Wibowo, M.Tr.Keb

Penerbit Health Science UDINUS

Universitas Dian Nuswantoro Jl. Nakula 1/5-11 Gedung D lantai 1 Semarang

Cetakan Pertama, 2026

ISSN 2964-5840

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang

PRAKATA

Dalam rangka pelaksanaan kegiatan Tri Dharma Perguruan Tinggi, maka kegiatan menulis buku merupakan salah satu indikator penting, terutama dalam bidang penelitian. Penulisan buku juga merupakan salah satu wujud penyebaran informasi kepada masyarakat di lingkungan akademik, maupun di masyarakat luas. Untuk itu, kami sebagai bagian dari komunitas akademik menghadirkan book chapter sebagai wujud pelaksanaan dari Tri Dharma Perguruan Tinggi.

“Bookchapter Health Science Series“ Chapter 2 ini terdiri dari 12 BAB, yang masing-masing ditulis oleh kelompok peneliti yang mempunyai latar belakang di bidang kesehatan atau ilmu-ilmu yang berkaitan. Penulis menyadari book chapter ini masih belum sempurna, sehingga penulis menerima saran yang membangun. Semoga bookchapterini bermanfaat bagi pembaca.

Semarang, Januari 2026

Tim Editor

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN IDENTITAS BUKU	i
PRAKATA	ii
DAFTAR ISI	iii
CHAPTER II	
Pendekatan Ekologis Dalam Pengendalian Vektor: Strategi Pengelolaan Lingkungan Untuk Mencapai Kesehatan Berkelanjutan	1
Efektivitas Pengendalian Vektor Aedes Aegypti Secara Kimiawi Di Indonesia	23
Pengendalian Vektor Aedes Aegypti Berbasis Lingkungan, Biologis, Dan Teknologi Modern Di Indonesia	38
Pengendalian Vektor Secara Hayati; Terminologi, Teori, dan Aplikasinya	60
Pengendalian Vektor Termit (Rayap) : Kajian Komprehensif Klasifikasi, Morfologi, dan Strategi Pengendalian Berkelanjutan	78
Pengendalian Vektor Terpadu ; Terminologi, Teori, dan Aplikasinya	95
Pengendalian Vektor Nyamuk Anopheles Secara Hayati: Terminologi, Teori, dan Aplikasinya	106
Konsep Dasar Vektor Pada Penularan Demam Berdarah Dengue : Terminologi, Teori, dan Strategi Pengendalian	125
Tinjauan Literatur Poliester Violet Sebagai Teknologi Perangkap Visual Multi Spesies dan Potensinya Dalam Pengendalian Hama Lalat Terpadu	136
Pengendalian Vektor Secara Genetik; Terminologi, Teori, dan Aplikasinya	146
Pengendalian Vektor Kecoa: Terminologi, Teori, dan Aplikasinya	167
Pengendalian Vektor Pinjal Dan Kutu Secara Hayati; Terminologi, Teori, Dan Aplikasinya	186

PENGENDALIAN VEKTOR NYAMUK *Anopheles* SECARA HAYATI: TERMINOLOGI, TEORI, DAN APLIKASINYA

¹⁾Amiratul Faiqoh Tegar Setyani

²⁾Suharyo

^{1), 2)} Faculty of Health Science Universitas Dian Nuswantoro

Corresponding author: Amiratul Faiqoh

Tegar Setyani

Email: amira.faiqoh2812@gmail.com

ABSTRAK

Nyamuk *Anopheles* merupakan vektor utama penyakit malaria yang masih menjadi masalah kesehatan masyarakat di Indonesia. Pengendalian vektor secara konvensional menggunakan insektisida kimia telah menimbulkan berbagai dampak negatif seperti resistensi nyamuk, pencemaran lingkungan dan gangguan ekosistem. Pengendalian vektor secara hayati menjadi alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Metode pengendalian hayati meliputi penggunaan agen biologi seperti bakteri *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* (Bti), predator alami seperti ikan pemakan jentik, parasitoid, fungi entomopatogen, serta tanaman penghasil insektisida botani. Artikel ini membahas terminologi, teori dasar, jenis dan klasifikasi agen pengendalian hayati, aplikasi di lapangan, kebijakan pemerintah, serta kelebihan dan kekurangan metode pengendalian hayati terhadap nyamuk *Anopheles*. Pengendalian hayati terbukti efektif, aman bagi lingkungan dan dapat diintegrasikan dengan metode pengendalian lainnya dalam program Pengendalian Vektor Terpadu (PVT).

Kata kunci: *Anopheles*, pengendalian hayati, vektor malaria, *Bacillus thuringiensis*, agen biologi

ABSTRACT

Anopheles mosquitoes are the primary vectors of malaria, which remains a public health concern in Indonesia. Conventional vector control using chemical insecticides has caused various negative impacts such as mosquito resistance, environmental pollution, and ecosystem disruption. Biological vector control has become a more environmentally friendly and sustainable alternative. Biological control methods include the use of biological agents such as *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* (Bti), natural predators such as larvivorous fish, parasitoids, entomopathogenic fungi, and botanical insecticide-producing plants. This article discusses terminology, basic theory, types and classification of biological control agents, field applications, government policies, as well as advantages and disadvantages of biological control methods against *Anopheles* mosquitoes. Biological control has proven to be effective, environmentally safe, and can be integrated with other control methods in Integrated Vector Management (IVM) programs.

Keywords: *Anopheles, biological control, malaria vector, Bacillus thuringiensis, biological agents*

A. PENDAHULUAN

Malaria merupakan penyakit infeksi yang disebabkan oleh parasit *Plasmodium* yang ditularkan melalui gigitan nyamuk *Anopheles* betina. Indonesia sebagai negara tropis masih menghadapi tantangan besar dalam pengendalian malaria, terutama di wilayah Indonesia Timur seperti Papua, Maluku, dan Nusa Tenggara Timur. (Avichena and Anggriyani, 2023) Menurut data Kementerian Kesehatan RI, *Annual Parasite Incidence* (API) malaria di Indonesia masih bervariasi antar provinsi dengan beberapa daerah masih tergolong endemis tinggi. (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2022)

Nyamuk *Anopheles* memiliki karakteristik unik yang membedakannya dari genus nyamuk lainnya (Becker et al., 2020). Pengendalian vektor malaria menjadi salah satu pilar utama dalam program eliminasi malaria di Indonesia (Asshiddiq and Ghofur, 2025). Selama ini, pengendalian vektor masih didominasi oleh penggunaan insektisida kimia seperti penyemprotan rumah dengan insektisida residual (*Indoor Residual Spraying/IRS*) dan

penggunaan kelambu berinsektisida (*Long Lasting Insecticidal Nets/LLINs*) (World Health Organization, 2021).

Namun demikian, penggunaan insektisida kimia secara terus-menerus telah menimbulkan berbagai permasalahan. Resistensi nyamuk terhadap insektisida semakin meningkat, pencemaran lingkungan terjadi, dan terdapat dampak negatif terhadap organisme non-target termasuk manusia.(Meier *et al.*, 2022) Oleh karena itu, diperlukan alternatif pengendalian yang lebih aman dan berkelanjutan, salah satunya adalah pengendalian vektor secara hayati.(American Mosquito Control Association, 2021)

Pengendalian hayati (*biological control*) adalah metode pengendalian organisme pengganggu menggunakan musuh alami atau agen biologi. Metode ini dianggap lebih ramah lingkungan, spesifik terhadap target, dan tidak menimbulkan resistensi seperti insektisida kimia.(American Mosquito Control Association, 2021)(Herlinda, 2020) Berbagai penelitian telah membuktikan efektivitas agen hayati dalam mengendalikan populasi nyamuk *Anopheles*, baik pada tahap larva maupun dewasa (Hamzah *et al.*, 2025) (Rants'o *et al.*, 2023).

B. TERMINOLOGI DAN TEORI DASAR

1. Definisi Pengendalian Hayati

Pengendalian hayati adalah pemanfaatan organisme hidup atau produk metabolitnya untuk menurunkan populasi organisme pengganggu hingga tingkat yang tidak merugikan. Dalam konteks pengendalian vektor, pengendalian hayati merupakan penggunaan musuh alami nyamuk seperti predator, parasit, patogen, atau kompetitor untuk menekan populasi nyamuk vektor (Sari *et al.*, 2024).

2. Prinsip Pengendalian Hayati

Pengendalian hayati bekerja berdasarkan prinsip-prinsip ekologi dan hubungan antar organisme dalam ekosistem.Terdapat tiga mekanisme utama:(Sari *et al.*, 2024).

- a. Predasi: Organisme predator memangsa nyamuk pada berbagai tahap perkembangannya (telur, larva, pupa, atau dewasa).
- b. Parasitisme: Organisme parasit hidup di dalam atau pada tubuh

nyamuk dan menyebabkan kematian atau penurunan kemampuan reproduksi.

- c. Patogenisitas: Mikroorganisme patogen (bakteri, virus, fungi, protozoa) menginfeksi dan membunuh nyamuk target.

3. Klasifikasi Nyamuk *Anopheles*

Nyamuk *Anopheles* secara taksonomi termasuk dalam: (Integrated Taxonomic Information System, 2021).

- a. Kingdom: Animalia
- b. Filum: Arthropoda
- c. Kelas: Insecta (Hexapoda)
- d. Ordo: Diptera
- e. Subordo: Nematocera
- f. Famili: *Culicidae*
- g. Subfamili: *Anophelinae*
- h. Genus: *Anopheles*

Di dunia terdapat lebih dari 400 spesies *Anopheles*, namun hanya sekitar 30-40 spesies yang menjadi vektor malaria. Di Indonesia, beberapa spesies vektor malaria yang penting antara lain: (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2022).

- a. *Anopheles sundaicus* (vektor utama di daerah pantai)
- b. *Anopheles aconitus* (vektor di dataran rendah dan pegunungan)
- c. *Anopheles subpictus* (vektor di daerah pantai dan rawa)
- d. *Anopheles punctulatus* (vektor di Papua dan Indonesia Timur)
- e. *Anopheles farauti* (vektor di Papua dan Maluku)
- f. *Anopheles balabacensis* (vektor di Kalimantan)

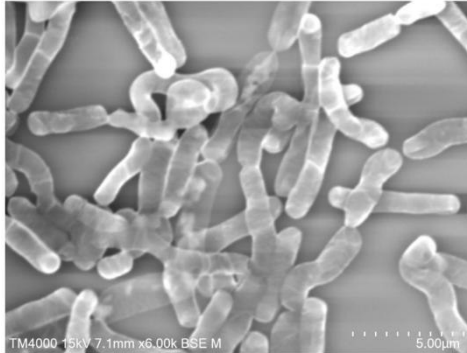
C. JENIS DAN KLASIFIKASI AGEN PENGENDALIAN HAYATI

1. Agen Mikroba Entomopatogen

- a. Bakteri *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* (Bti)

Bti merupakan bakteri gram positif yang menghasilkan kristal protein (delta-endotoksin) yang bersifat toksik terhadap larva nyamuk. Toksin ini bekerja spesifik pada saluran

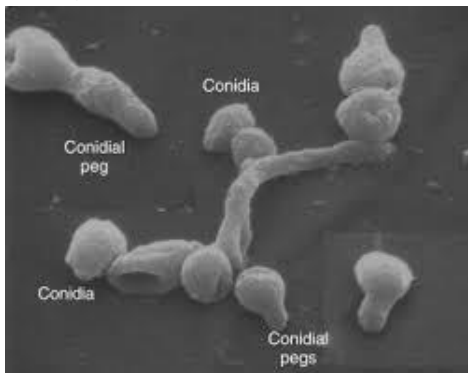
pencernaan larva nyamuk dan tidak berbahaya bagi organisme non-target. Bti efektif mengendalikan larva *Anopheles*, *Aedes*, dan *Culex* dengan tingkat mortalitas mencapai 80-100% pada dosis yang tepat (Muharir, 2021).



<https://h7.cl/1gZfu>

b. Bakteri *Bacillus sphaericus* (Bs)

Bs juga merupakan bakteri entomopatogen yang menghasilkan toksin protein biner yang aktif terhadap larva nyamuk. Bs lebih efektif pada habitat yang kaya bahan organik dan dapat bertahan lebih lama di lingkungan dibanding Bti (Park *et al.*, 2010).

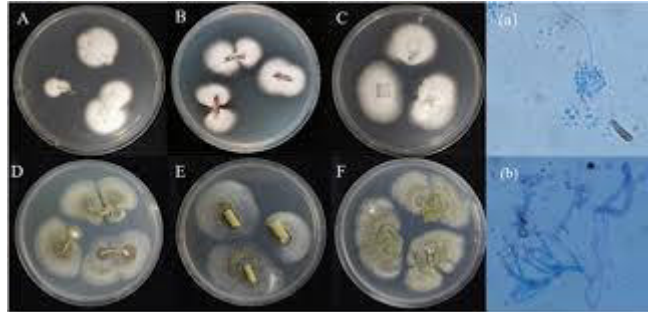


<https://h7.cl/1gZfx>

c. Fungi Entomopatogen

Beberapa spesies fungi seperti *Metarhizium anisopliae*,

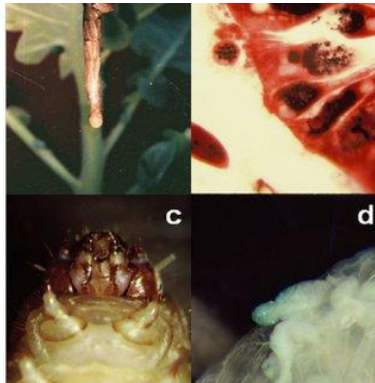
Beauveria bassiana, dan *Lagenidium giganteum* dapat menginfeksi dan membunuh larva maupun nyamuk dewasa. Fungi ini bekerja dengan cara menempel pada kutikula serangga, berkecambah, dan menembus integumen tubuh nyamuk (Sharma and Sharma, 2021).



<https://h7.cl/1gZfJ>

d. Virus Entomopatogen

Baculovirus dan *Cytoplasmic Polyhedrosis Virus* (CPV) dapat menginfeksi larva nyamuk meskipun penggunaannya masih terbatas karena spesifisitas host yang tinggi dan produksi massal yang sulit (Asril *et al.*, 2023).



<https://h7.cl/1IU5t>

2. Predator Alami

a. Ikan Pemakan Jentik

Beberapa spesies ikan efektif sebagai predator larva nyamuk:

(Lukas *et al.*, 2025)(Santoso *et al.*, 2022).

- 1) Ikan kepala timah (*Puntius binotatus*)
- 2) Ikan cupang (*Betta splendens*)
- 3) Ikan gambusia (*Gambusia affinis*)
- 4) Ikan nila (*Oreochromis niloticus*)
- 5) Ikan gabus (*Channa striata*)



Ikan kepala timah
<https://h7.cl/1IU5C>



Ikan cupang
<https://h7.cl/1IU5K>



Ikan gambusia
<https://h7.cl/1IU5S>

b. Predator Invertebrata (Vinogradov *et al.*, 2022)

- 1) Larva capung (Odonata)
- 2) Larva kumbang air (Coleoptera: Dytiscidae)
- 3) Larva nyamuk predator (*Toxorhynchites spp.*)
- 4) Copepoda (Crustacea kecil pemakan larva)



Larva capung
<https://h7.cl/1IU63>



Larva kumbang air
<https://h7.cl/1gZgF>



Copepoda
<https://h7.cl/1gZgJ>

3. Parasitoid

Nematoda *Romanomermis culicivorax* merupakan parasit obligat yang menginfeksi larva nyamuk dan menyebabkan kematian. Parasitoid ini memasuki tubuh larva dan memakan jaringan tubuh

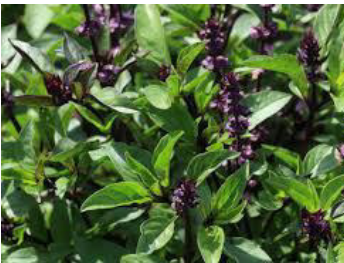


<https://h7.cl/11U6u>

4. Insektisida Botani

Berbagai tanaman menghasilkan senyawa bioaktif yang bersifat larvasida atau repelen:

- Daun selasih (*Ocimum basilicum*) mengandung eugenol, linalool, dan geraniol (Kardinan, 2020).
- Daun nimba (*Azadirachta indica*) mengandung azadirachtin (Pratiwi *et al.*, 2025).
- Serai wangi (*Cymbopogon nardus*) mengandung sitronelal (Taufiq and Khatimah, 2023).
- Biji srikaya (*Annona squamosa*) mengandung annonin (Ristiati *et al.*, 2019).
- Akar tuba (*Derris elliptica*) mengandung rotenon (Alan and Mahtuti, 2025).



Daun selasih

<https://h7.cl/11U6C>



Daun nimbi

<https://h7.cl/1gZh9>



Akar tuba

<https://h7.cl/11U6Y>

D. APLIKASI PENGENDALIAN HAYATI DI LAPANGAN

1. Aplikasi Bti (*Bacillus thuringiensis* var. *israelensis*)

Bti dapat diaplikasikan dalam berbagai formulasi dan dosis:

- a. Formulasi cair: 1-2 liter/ha untuk habitat breeding site
- b. Formulasi granul: 5-10 kg/ha disebar di genangan air
- c. Formulasi briket: 1-2 briket per kontainer air
- d. Aplikasi interval: 7-14 hari tergantung kondisi lingkungan

Aplikasi dilakukan dengan menyebarkan produk Bti langsung ke habitat perkembangbiakan larva seperti sawah, rawa, genangan air, dan wadah penampung air. Waktu aplikasi optimal adalah pagi hari atau sore hari untuk menghindari paparan sinar UV yang dapat menurunkan efektivitas Bti (Muharir, 2021).

2. Penebaran Ikan Pemakan Jentik

Prosedur Penebaran:

- a. Survey lokasi habitat *breeding site* nyamuk
- b. Identifikasi jenis habitat (*permanent/semi-permanent/temporary*)
- c. Pemilihan spesies ikan yang sesuai dengan karakteristik habitat
- d. Penebaran dengan kepadatan 2-5 ekor/m² atau 500-1000 ekor/ha
- e. *Monitoring* dan evaluasi berkala

Ikan pemakan jentik efektif untuk habitat permanen seperti kolam, danau, rawa, sawah tadah hujan, dan badan air yang tidak mengering. Untuk habitat temporer, penggunaan ikan kurang efektif karena musim kering dapat mematikan ikan (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2022).

3. Aplikasi Insektisida Botani

Ekstrak daun selasih dengan konsentrasi 5-10% terbukti menyebabkan mortalitas larva *Anopheles aconitus* hingga 70-90% dalam 24-48 jam. Cara pembuatan: daun selasih dikeringkan, dihaluskan, dimaserasi dengan etanol, lalu diencerkan sesuai

konsentrasi yang diinginkan (Istimuyasaroh *et al.*, 2012).

Insektisida botani dapat diproduksi secara sederhana oleh masyarakat dengan bahan baku lokal yang mudah didapat. Aplikasi dilakukan dengan menyemprotkan atau menuangkan ekstrak ke habitat *breeding site* larva nyamuk (Corzo-Gómez *et al.*, 2024).

4. *Integrated Vector Management (IVM)*

Pengendalian hayati paling efektif bila diintegrasikan dengan metode lain: (Fitriani *et al.*, 2023).

- a. Pengelolaan lingkungan (*environmental management*)
- b. Modifikasi habitat (*source reduction*)
- c. Proteksi personal (kelambu, repelen)
- d. Pengendalian kimia selektif dan rasional
- e. Partisipasi masyarakat

E. KEBIJAKAN PEMERINTAH

1. Regulasi dan Program Nasional

Pemerintah Indonesia melalui Kementerian Kesehatan telah menetapkan berbagai kebijakan terkait pengendalian vektor malaria:

a. Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 374/MENKES/PER/III/2010

Tentang Pengendalian Vektor yang menyatakan pengendalian vektor harus mengutamakan metode yang aman, efektif, efisien, dan berkelanjutan dengan memprioritaskan metode non-kimia termasuk pengendalian hayati (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2010).

b. Strategi Nasional Eliminasi Malaria 2020-2030

Program ini menempatkan pengendalian vektor sebagai salah satu pilar utama dengan pendekatan *Integrated Vector Management (IVM)* yang mencakup pengendalian hayati sebagai salah satu komponen penting (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2025).

c. Program Pengendalian Vektor Terpadu (PVT)

Program PVT mengintegrasikan berbagai metode

pengendalian termasuk: (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2022).

- 1) Pengelolaan lingkungan
- 2) Pengendalian biologi/hayati
- 3) Pengendalian kimiawi rasional
- 4) Proteksi personal
- 5) Pemberdayaan masyarakat

2. Implementasi di Daerah Endemis

Di daerah endemis malaria seperti Papua, NTT, dan Maluku, pemerintah daerah telah mengimplementasikan program pengendalian hayati melalui: (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2024).

- a. Distribusi ikan pemakan jentik ke masyarakat
- b. Pelatihan kader kesehatan dalam aplikasi Bti
- c. Pengembangan insektisida nabati berbasis kearifan lokal
- d. Monitoring dan *surveillance* vektor secara berkala

Tabel 1. Prevalensi Malaria (API) Berdasarkan Provinsi Tahun 2018-2023
(Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2024)

Provinsi	Tahun 2018 (per 1000)	Tahun 2020 (per 1000)	Tahun 2023 (per 1000)
Papua	32.45	28.21	18.45
Papua Barat	18.23	15.67	10.23
NTT	6.78	5.32	3.45
Maluku	5.45	4.23	2.87
Maluku Utara	4.32	3.56	2.34

Sumber: Kementerian Kesehatan RI, 2024

F. KELEBIHAN DAN KEKURANGAN PENGENDALIAN HAYATI

- 1. Kelebihan Pengendalian Hayati (American Mosquito Control Association, 2021)(Sari *et al.*, 2024)(Asril *et al.*, 2023).

- a. Ramah Lingkungan

Tidak mencemari lingkungan dan tidak meninggalkan residu

berbahaya di ekosistem. Aman bagi organisme non-target termasuk manusia, hewan peliharaan, dan satwa liar.

- b. Spesifik Target
Agen hayati seperti Bti bekerja sangat spesifik hanya pada larva nyamuk tanpa membahayakan organisme lain. Hal ini menjaga keseimbangan ekosistem.
 - c. Tidak Menimbulkan Resistensi
Mekanisme kerja agen hayati yang kompleks membuat nyamuk sulit mengembangkan resistensi, berbeda dengan insektisida kimia yang cepat menimbulkan resistensi.
 - d. Efek Jangka Panjang
Beberapa agen hayati seperti ikan pemakan jentik dapat memberikan perlindungan berkelanjutan selama habitat tetap ada. Predator alami dapat bereproduksi dan mempertahankan populasinya.
 - e. Ekonomis
Dalam jangka panjang, pengendalian hayati lebih ekonomis karena dapat diproduksi lokal dan tidak memerlukan pengulangan aplikasi sesering insektisida kimia.
 - f. Pemberdayaan Masyarakat
Masyarakat dapat berpartisipasi aktif dalam produksi dan aplikasi agen hayati, meningkatkan kesadaran dan kemandirian dalam pengendalian vektor.
 - g. Kompatibel dengan Metode Lain
Dapat diintegrasikan dengan metode pengendalian lain dalam program IVM tanpa efek antagonis.
2. Kekurangan Pengendalian Hayati (American Mosquito Control Association, 2021)(Sari *et al.*, 2024)(Asril *et al.*, 2023).
 - a. Efektivitas Bergantung Kondisi Lingkungan
Efektivitas agen hayati sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu, pH, kelembaban, sinar UV, dan keberadaan bahan organik. Kondisi ekstrem dapat menurunkan viabilitas agen hayati.

- b. Onset Kerja Lebih Lambat
Pengendalian hayati memerlukan waktu lebih lama untuk menunjukkan hasil dibandingkan insektisida kimia yang bekerja cepat (*knock down effect*).
- c. Aplikasi Lebih Kompleks
Memerlukan pengetahuan khusus dalam aplikasi, dosis, waktu aplikasi, dan pemilihan agen yang tepat sesuai kondisi setempat.
- d. Keterbatasan Produksi Masal
Produksi agen hayati dalam skala besar masih menghadapi kendala teknis dan ekonomis, terutama untuk agen mikroba yang memerlukan fasilitas laboratorium.
- e. Penyimpanan dan Transportasi
Agen hayati, terutama mikroorganisme, memerlukan kondisi penyimpanan khusus (*cold chain*) dan masa simpan terbatas sehingga distribusi ke daerah terpencil menjadi tantangan.
- f. Tidak Efektif untuk Outbreak
Pada kondisi outbreak atau ledakan kasus, pengendalian hayati kurang efektif karena memerlukan waktu untuk menurunkan populasi vektor. Masih diperlukan pengendalian kimia sebagai tindakan cepat.
- g. Biaya Awal Tinggi
Investasi awal untuk pengembangan, produksi, dan distribusi agen hayati relatif tinggi, meskipun dalam jangka panjang lebih ekonomis.
- h. Keterbatasan Penelitian Lokal
Penelitian tentang efektivitas dan efisiensi agen hayati spesifik untuk kondisi Indonesia masih terbatas sehingga diperlukan lebih banyak riset adaptasi.

G. TANTANGAN DAN PROSPEK PENGEMBANGAN

- 1. Tantangan Implementasi (World Health Organization, 2021)(American Mosquito Control Association, 2021)(Sari *et al.*, 2024)
 - a. Keterbatasan Sumber Daya Manusia
Kurangnya tenaga terlatih dalam produksi, aplikasi, dan

monitoring pengendalian hayati di tingkat lapangan.

- b. Aspek Sosial dan Budaya
Penerimaan masyarakat terhadap metode baru, terutama penggunaan mikroorganisme, masih rendah karena kurangnya pemahaman.
 - c. Infrastruktur dan Logistik
Distribusi agen hayati ke daerah terpencil dan endemis tinggi yang umumnya memiliki akses terbatas menjadi kendala operasional.
 - d. Koordinasi Lintas Sektor
Pengendalian vektor memerlukan kerjasama berbagai pihak termasuk kesehatan, pertanian, lingkungan, dan masyarakat yang belum optimal.
2. Prospek Pengembangan
 - a. Inovasi Formulasi
Pengembangan formulasi baru yang lebih stabil, tahan lama, dan mudah diaplikasikan seperti *slow release formulation* dan *microencapsulation* (American Mosquito Control Association, 2021).
 - b. Bioteknologi
Pemanfaatan teknologi rekayasa genetika untuk meningkatkan virulensi dan persistensi agen hayati, serta pengembangan nyamuk mandul (*Sterile Insect Technique*)(American Mosquito Control Association, 2021).
 - c. Produksi Lokal
Pengembangan unit produksi agen hayati di tingkat daerah untuk memudahkan akses dan menurunkan biaya (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2022)(World Health Organization, 2021).
 - d. Integrasi Digital
Pemanfaatan teknologi informasi untuk monitoring, surveillance, dan sistem peringatan dini berbasis data epidemiologi dan ekologi vektor (World Health Organization, 2021).
 - e. Penelitian Kolaboratif
Kerjasama penelitian antar institusi untuk mengembangkan agen

hayati indigenous yang lebih adaptif dengan kondisi lokal Indonesia (Asril *et al.*, 2023).

H. KESIMPULAN

Pengendalian vektor nyamuk *Anopheles* secara hayati merupakan alternatif yang menjanjikan untuk mengatasi keterbatasan dan dampak negatif pengendalian kimiawi. Berbagai agen hayati seperti *Bacillus thuringiensis var. israelensis*, ikan pemakan jentik, fungi entomopatogen, dan insektisida botani telah terbukti efektif dalam menekan populasi nyamuk vektor malaria. Metode ini memiliki kelebihan utama yaitu ramah lingkungan, spesifik target, tidak menimbulkan resistensi, dan berkelanjutan.

Meskipun demikian, pengendalian hayati juga memiliki keterbatasan seperti efektivitas yang bergantung kondisi lingkungan, onset kerja lebih lambat, dan memerlukan keahlian khusus dalam aplikasi. Oleh karena itu, pendekatan terbaik adalah mengintegrasikan pengendalian hayati dalam program Pengendalian Vektor Terpadu (PVT) yang menggabungkan berbagai metode sesuai kondisi epidemiologi dan ekologi setempat.

Keberhasilan implementasi pengendalian hayati memerlukan komitmen kuat dari pemerintah dalam hal kebijakan, pendanaan, pengembangan SDM, dan infrastruktur. Partisipasi aktif masyarakat juga menjadi kunci keberhasilan program. Penelitian dan pengembangan berkelanjutan diperlukan untuk meningkatkan efektivitas, efisiensi, dan akseptabilitas pengendalian hayati sebagai strategi utama dalam eliminasi malaria di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Alan, G.Z. and Mahtuti, E.Y. (2025), “Efektivitas Repellent dari Ekstrak Akar Tuba (*Derris elliptica*) terhadap Daya Hinggap Nyamuk *Aedes aegypti*”, *Quantum Wellness : Jurnal Ilmu Kesehatan*, Vol. 2 No. 1, pp. 54–71.
- American Mosquito Control Association. (2021), *Best Practices for Integrated Mosquito Management*, American Mosquito Control Association, Sacramento, CA.
- Asril, M., Ohiwal, M., Sepe, M., Bulawan, J.A., Lestari, W., Arsi, A., Sari,

S.P., *et al.* (2023), *Pengendalian Hayati*, Yayasan Kita Menulis.

Asshiddiq, M.R.N. and Ghofur, A. (2025), “Identifikasi Jentik Nyamuk *Anopheles* sp di Dusun Ndasun Desa Mojo Rt 06 Rw 07 Kecamatan Ulujami”, *Jurnal Medika Husada*, Vol. 5 No. 2, pp. 23–33, doi: 10.59744/jumeha.v5i2.103.

Avichena, A. and Anggriyani, R. (2023), “The Pengaruh Infeksi *Plasmodium* sp. Terhadap Trombosit Manusia: Tinjauan Literatur”, *EKOTONIA: Jurnal Penelitian Biologi, Botani, Zoologi Dan Mikrobiologi*, Vol. 8 No. 1, pp. 30–37, doi: 10.33019/ekotonia.v8i1.4128.

Corzo-Gómez, J.C., Espinosa-Juárez, J.V., Ovando-Zambrano, J.C., Briones-Aranda, A., Cruz-Salomón, A. and Esquinca-Avilés, H.A. (2024), “A Review of Botanical Extracts with Repellent and Insecticidal Activity and Their Suitability for Managing Mosquito-Borne Disease Risk in Mexico”, *Pathogens*, Vol. 13 No. 9, p. 737, doi: 10.3390/pathogens13090737.

Fitriani, D., Raharjo, M., Raharjo, M., Martini, M., Martini, M., Setiani, O., Setiani, O., *et al.* (2023), “Penerapan Integrated Vector Management (IVM) Dalam Upaya Eliminasi Malaria Di Daerah Endemis Kabupaten Purworejo”, *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, Vol. 22 No. 1, pp. 112–121, doi: 10.14710/jkli.22.1.112-121.

Hajek, A.E. and Eilenberg, J. (2018), *Biological Control of Invertebrate and Vertebrate Pests. In Natural Enemies: An Introduction to Biological Control*, Part, Cambridge: Cambridge University Press.

Hamzah, S.I., Aprilia, D.V., Ningrum, S.P., Kurniawan, F.B., Hartati, R., Sahli, I.T., Asrianto Asrianto, *et al.* (2025), “Uji Insektisida Ekstrak Daun Zodia (*Evodia Sauveolens*) terhadap Nyamuk *Anopheles* Sp.”, *JURNAL RISET RUMPUN ILMU KEDOKTERAN*, Vol. 4 No. 1, pp. 334–342, doi: 10.55606/jurriike.v4i1.5046.

Herlinda, S. (2020), “Use of natural enemies for biological control for insect pests of food crops and vegetables to support organic farming”, *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal Ke-8 Tahun 2020*, pp. 39–46.

Integrated Taxonomic Information System. (2021), “*Anopheles* Meigen, 1818”, *ITIS Report*, available at:

https://itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=125956#null.

- Istimuyasaroh, I.-, Hadi, M.- and Tarwotjo, U.-. (2012), “Mortalitas dan Pertumbuhan Larva Nyamuk Anopheles aconitus kerana Pemberian Ekstrak Daun Selasih Oscimum basilicum”, *Bioma : Berkala Ilmiah Biologi*, Vol. 11 No. 2, p. 59, doi: 10.14710/bioma.11.2.59-63.
- Kardinan, A. (2020), “Potensi Selasih Sebagai Repellent Terhadap Nyamuk Aedes aegypti”, *Jurnal Penelitian Tanaman Industri*, Vol. 13 No. 2, p. 39, doi: 10.21082/jlittri.v13n2.2007.39-42.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2010), *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 374/Menkes/Per/III/2010 Tentang Pengendalian Vektor*, Direktorat Jenderal Pengendalian Penyakit dan Penyehatan Lingkungan.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2022), *Petunjuk Teknis Pengendalian Faktor Risiko Malaria*, Direktorat Jenderal Pencegahan dan Pengendalian Penyakit, Jakarta.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2024), *Kasus Malaria Di Indonesia*, Direktorat Jenderal Pencegahan dan Pengendalian Penyakit, Jakarta.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2025), *Strategi Indonesia Mencapai Eliminasi Malaria 2030 Melalui Peluncuran Indonesia Call to End Malaria Initiative Pada KTT Eliminasi Malaria Asia Pasifik Ke-9*. Badan Kebijakan Pembangunan Kesehatan, Badan Kebijakan Pembangunan Kesehatan.
- Lukas, J.L., Adrianto, H. and Darmanto, A.G. (2025), “Kemampuan Predasi Ikan Kepala Timah Aplocheilus panchax Jantan dan Betina Terhadap Larva Nyamuk Aedes aegypti”, *Jurnal Kesehatan Andalas*, Vol. 9 No. 4, pp. 387–391, doi: 10.25077/jka.v9i4.1564.
- Meier, C.J., Rouhier, M.F. and Hillyer, J.F. (2022), “Chemical Control of Mosquitoes and the Pesticide Treadmill: A Case for Photosensitive Insecticides as Larvicides”, *Insects*, Vol. 13 No. 12, p. 1093, doi: 10.3390/insects13121093.
- Muharir, W. (2021), *Efektifitas Bacillus Thuringiensis Israelensis (Bti) Terhadap Tingkat Perubahan Morfologi Larva Aedes Aegypti Sebagai*

- Park, H.-W., Bideshi, D.K. and Federici, B.A. (2010), “Properties and applied use of the mosquitocidal bacterium, *Bacillus sphaericus*”, *Journal of Asia-Pacific Entomology*, Vol. 13 No. 3, pp. 159–168, doi: 10.1016/j.aspen.2010.03.002.
- Pratiwi, V., Zaitun Ritaqwin, Rika Yusli Harta, Naziratil Husna, Yulis Untari and Mustaqim. (2025), “Pemanfaatan Daun Mimba (*Azadirachta Indica* A. Juss) sebagai Pestisida Nabati yang Aman Bagi Makhluk Hidup dan Ramah Lingkungan”, *AKSILAR: Akselerasi Luaran Pengabdian Masyarakat*, Vol. 2 No. 2, pp. 104–110, doi: 10.19184/aksilar.v2i2.5626.
- Rants’o, T.A., Koekemoer, L.L. and van Zyl, R.L. (2023), “The insecticidal activity of essential oil constituents against pyrethroid-resistant *Anopheles funestus* (Diptera: Culicidae)”, *Parasitology International*, Vol. 95, p. 102749, doi: 10.1016/j.parint.2023.102749.
- Ristiati, N.P., Dewi, N.P.S.R., Mulyadiharja, S. and Prastuti, N.W.G. (2019), “Toksistas ekstrak biji srikaya (*Annona squamosa*) terhadap mortalitas larva nyamuk *Anopheles* sp”, *Jurnal Biologi Udayana*, Vol. 23 No. 1, pp. 1–7.
- Santoso, H., Sutanto, A., Alamsyah, N. and Zen, S. (2022), “Daya Predasi Ikan Pemakan Jentik Nyamuk *Aedes* Sp Sebagai Sumber Belajar Untuk Menyusun Panduan Praktikum Biologi SMA”, *BIOEDUKASI (Jurnal Pendidikan Biologi)*, Vol. 13 No. 1, p. 122, doi: 10.24127/bioedukasi.v13i1.5313.
- Sari, D.R., Wigati, R.A., Setiyaningsih, R., Kandari, A.M., Shinta, D., Ronny, R., Marina, R., *et al.* (2024), *Pengendalian Hayati*, Eureka Media Aksara.
- Sharma, R. and Sharma, P. (2021), “Fungal entomopathogens: a systematic review”, *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, Vol. 31 No. 1, p. 57, doi: 10.1186/s41938-021-00404-7.
- Taufiq, T. and Khatimah, H. (2023), “Pembuatan Spray Herba Serai Wangi (*Cymbopogon nardus* L) Sebagai Anti Nyamuk *Culex* s.p”, *Parapemikir : Jurnal Ilmiah Farmasi*, Vol. 12 No. 1, p. 94, doi:

10.30591/pjif.v12i1.4628.

Vinogradov, D.D., Sinev, A.Y. and Tiunov, A. V. (2022), “Predators as Control Agents of Mosquito Larvae in Micro-Reservoirs (Review)”, *Inland Water Biology*, Vol. 15 No. 1, pp. 39–53, doi: 10.1134/S1995082922010138.

World Health Organization. (2021), *Global Technical Strategy for Malaria 2016-2030, 2021 Update*, WHO, Geneva.