

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 Secara Hayati; terminologi, teori, dan Aplikasinya

¹⁾Hardina Cita Rani

²⁾Suharyo

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

Corresponding author:Hardina Cita Rani

Email:411202404082@mhs.dinus.ac.id

ABSTRAK

Penyakit tular vector seperti demam berdarah dengue (DBD), malaria, dan filariasis masih menjadi permasalahan kesehatan masyarakat di Indonesia. Upaya pengendalian vector selama ini cenderung bergantung pada penggunaan insektisida kimia, yang dapat menimbulkan dampak negative berupa resistensi vektor, pencemaran lingkungan, serta gangguan terhadap organisme non-target. Sebagai alternatif yang lebih aman dan berkelanjutan, pengendalian vector secara hayati dikembangkan dengan memanfaatkan musuh alami seperti predator, parasit, dan mikroorganisme yang mampu menekan populasi vector secara alami. Agen hayati yang umum digunakan antara lain ikan pemakan jentik (*Gambusiaaffinis*, *Poeciliareticulata*), bakteri *Bacillus thuringiensisraelensis* (Bti), jamur entomo patogen (*Metarhiziumanisopliae*, *Beauveriabassiana*), serta bakteri *Wolbachia* yang dapat menghambat transmisi virus dengue pada nyamuk *Aedes aegypti*. Pendekatan pengendalian ini dilaksanakan melalui konsep *Integrated Vector Management* (IVM) yang menekankan keseimbangan antara efektivitas, keamanan lingkungan, dan partisipasi masyarakat. Pemerintah Indonesia mendukung penerapan metode hayati melalui *Permenkes No. 374 Tahun 2010 tentang Pengendalian Vektor* dan *Rencana Aksi Nasional Pengendalian Penyakit Tular Vektor 2020–2024*. Penerapan pengendalian hayati terbukti mampu menurunkan populasi vektor secara bertahap, menjaga keseimbangan ekosistem, dan mengurangi ketergantungan terhadap bahan kimia sintetis. Dengan demikian, pengendalian vektor secara hayati merupakan strategi

efektif dan ramah lingkungan yang mendukung upaya pengendalian penyakit tular vektor secara berkelanjutan di Indonesia.

Kata kunci: Pengendalian vektor, pengendalian hayati, penyakit tular vektor, musuh alami, *Integrated Vector Management (IVM)*, *Wolbachia*, *Bacillus thuringiensis israelensis (Bti)*, keberlanjutan lingkungan.

ABSTRACT

Vector-borne diseases such as dengue fever (DHF), malaria, and filariasis remain a public health problem in Indonesia. Current vector control efforts tend to rely on the use of chemical insecticides, which can lead to negative impacts such as vector resistance, environmental pollution, and disruption of non-target organisms. As a safer and more sustainable alternative, biological vector control is being developed by utilizing natural enemies such as predators, parasites, and microorganisms that can naturally suppress vector populations. Commonly used biological agents include larva-eating fish (*Gambusia affinis*, *Poecilia reticulata*), *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) bacteria, entomopathogenic fungi (*Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana*), and *Wolbachia* bacteria, which can inhibit dengue virus transmission in *Aedes aegypti* mosquitoes. This control approach is implemented through the Integrated Vector Management (IVM) concept, which emphasizes a balance between effectiveness, environmental safety, and community participation. The Indonesian government supports the implementation of biological methods through Ministerial Regulation No. 374 of 2010 concerning Vector Control and the National Action Plan for Vector-Borne Disease Control 2020–2024. The application of biological control has been proven to gradually reduce vector populations, maintain ecosystem balance, and reduce dependence on synthetic chemicals. Therefore, biological vector control is an effective and environmentally friendly strategy that supports sustainable vector-borne disease control efforts in Indonesia.

Keywords: Vector control, biological control, vector-borne diseases, natural enemies, Integrated Vector Management (IVM), *Wolbachia*, *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti), environmental sustainability.

A. PENDAHULUAN

Penyakit yang ditularkan oleh vektor, seperti malaria, demam berdarah dengue (DBD), chikungunya, dan filariasis, tetap menjadi tantangan kesehatan masyarakat di banyak negara beriklim tropis dan subtropis, termasuk Indonesia (WHO,2017). Pengendalian penyakit-penyakit tersebut biasanya bergantung pada penggunaan insektisida kimia. Namun, penggunaan insektisida secara terus-menerus menimbulkan beberapa masalah, termasuk munculnya resistensi pada populasi vektor, dampak negatif terhadap organisme non-target, gangguan ekosistem, serta risiko terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Hemingway & Ranson, 2000; Pimentel, 2005).

Seiring meningkatnya kesadaran akan keberlanjutan dan kesehatan lingkungan, pengendalian vector secara hayati (biological control) muncul sebagai alternatif yang menjanjikan. Berbagai agen hayati telah dimanfaatkan dalam pengendalian vektor, antara lain seperti bakteri (*Bacillus thuringiensis israelensis*), jamur entomo patogen (*Metarhiziumanisopliae*, *Beauveriabassiana*), ikan pemakan jentik (*Poeciliareticulata*), hingga predator serangga seperti *Toxorhynchites spp.* Pendekatan ini diharapkan dapat menurunkan kepadatan vector secara signifikan sehingga penularan penyakit dapat ditekan. Efektivitas metode ini telah diteliti dalam berbagai skala, dari eksperimen laboratorium, uji lapangan hingga program komunitas. Meskipun demikian, terdapat tantangan yang harus diatasi supaya pengendalian hayati bias diterapkan secara luas: kestabilan formulasi agen hayati, kondisi lingkungan yang mempengaruhi keberhasilan, kebutuhan akan pengawasan dan monitoring, serta adopsi masyarakat setempat (Floore, 2006; van den Berg et al., 2012).

Dengan demikian, pengendalian vector secara hayati menjadi salah satu komponen penting dalam strategi Integrated Vector Management (IVM) yang menekankan pada kombinasi berbagai metode pengendalian dengan memperhatikan aspek efektivitas, keberlanjutan, dan keamanan lingkungan (WHO,2012). Pengendalian vektor secara hayati (biological vector control) adalah upaya mengurangi atau menekan populasi vektor penyakit dengan memanfaatkan organisme

hidup (seperti predator, parasit, patogen, atau mikroorganisme) yang secara alami dapat menurunkan jumlah atau kemampuan hidup vektor tersebut (Lacey, 2007).

Tujuan pengendalian hayati bukan hanya menurunkan kepadatan vektor, tetapi juga memutus rantai penularan penyakit secara lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Dengan menggabungkan pendekatan hayati kedalam IVM, diharapkan pengendalian penyakit vector dapat lebih efektif dan berkelanjutan dalam jangka panjang (Benelli et al., 2016; WHO, 2017).

B. JENIS DAN KLASIFIKASI

1. Berdasarkan Jenis Agen Biologis

a. Predator Alami

Agen ini memakan langsung vektor pada tahap tertentu. Contohnya:

- 1) Ikan larvivora seperti *Poecilia reticulata* (ikan gupi) yang memakan larva nyamuk (Ghosh et al., 2012; Service, 2012)..
- 2) *Toxorhynchites* spp., nyamuk predator yang larvanya memangsa larva nyamuk lain (Service, 2012; Becker et al., 2010).
- 3) *Mesocyclops aspericornis*, copepoda predator larva nyamuk di genangan air (Effler et al., 2012; Yap & Lee, 2019).

b. Patogen dan Mikroorganisme

Agen biologis berupa bakteri, virus, jamur atau protozoa yang menginfeksi vektor. Contohnya:

- 1) *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) dan *Bacillus sphaericus*, yang menghasilkan toksin pembunuh larva nyamuk (Lacey, 2007; Becker et al., 2010).
- 2) Jamur *Metarhizium anisopliae* dan *Beauveria bassiana* yang menyerang nyamuk dewasa (Scholte & Takken, 2007).

c. Parasit dan Parasitisme Alami

Beberapa nematoda dan protozoa menjadi parasit bagi serangga vektor, misalnya *Romanomermis* iyangari yang menginfeksi

larva nyamuk di air (Becker et al., 2010; Service, 2012).

- d. Simbion atau Modifikasi Mikroba (seperti Wolbachia)
Wolbachia merupakan bakteri endosimbion yang menginfeksi serangga dan mampu menghambat replikasi virus dengue di dalam tubuh nyamuk *Aedes aegypti* (Caragata et al., 2018; Ritchie & Johnson, 2017).
- e. Teknik Serangga Mandul (Sterile Insect Technique – SIT)
Menggunakan nyamuk jantan steril yang dilepaskan ke lingkungan untuk kawin dengan betina liar, tetapi tidak menghasilkan keturunan, sehingga populasi berkurang (WHO & IAEA, 2020; Becker et al., 2010).

2. Berdasarkan Mekanisme Kerja

- a. Mekanisme Predasi
Agen biologis memangsa langsung vektor. Contohnya *Poecilia reticulata*, *Toxorhynchites spp* (Becker et al., 2010; Service, 2012).
- b. Mekanisme Paratisme
Agen biologis hidup di dalam tubuh vektor dan melemahkannya. Contohnya *Romanomermis iyengari* (Becker et al., 2010; Service, 2012).
- c. Mekanisme Infeksi Patogenik
Mikroba menghasilkan toksin yang membunuh vektor. Contohnya *Bacillus Thuringiensis Israelensis* (Lacey, 2007; Becker et al., 2010).
- d. Mekanisme Manipulasi Reproduksi
Mengubah kemampuan vektor untuk berkembang biak atau menularkan penyakit. Contohnya Wolbachia, *Sterile Insect Technique* (WHO & IAEA, 2020).
- e. Mekanisme Modifikasi Habitat Biologis
Menyediakan kondisi yang mendukung musuh alami vektor. Contohnya kolam ikan pemakan larva, konservasi predator alami (WHO, 2012; Yap & Lee, 2019).

3. Berdasarkan Target Tahap Hidup Vektor (World Health Organization, 2012)

Tabel. 1 Agen Biologis dalam Pengendalian Berdasarkan Tahap Hidup Vektor

Tahap Hidup Vektor	Contoh Agen Biologis	Keterangan
Telur / Larva	Bti, ikan gupi, copepoda	Diterapkan di air tempat berkembang biak nyamuk
Dewasa	Jamur entomopatogen, SIT, Wolbachia	Menyerang atau memodifikasi nyamuk dewasa

C. APLIKASI

Aplikasi pengendalian vektor secara hayati telah diterapkan di berbagai negara, termasuk Indonesia, baik dalam skala laboratorium, lapangan terbatas, maupun program nasional. Aplikasi ini menyesuaikan dengan jenis vektor, kondisi lingkungan, serta ketersediaan agen biologis.

1. Aplikasi di Lapangan

a. Penggunaan Ikan Larvivora

Deskripsi: Ikan pemakan larva, seperti *Poecilia reticulata* (ikan gupi) dan *Gambusia affinis*, banyak digunakan di kolam, selokan, dan tempat penampungan air untuk menekan populasi larva nyamuk (Ghosh et al., 2012; Service, 2012).

Contoh Aplikasi di Indonesia: Dinas Kesehatan di beberapa daerah (seperti Yogyakarta dan Semarang) bekerja sama dengan masyarakat untuk memelihara ikan gupi di bak mandi atau kolam sebagai program “Gerakan Ikan Pemakan Jentik” (World Health Organization, 2012; Kementerian Kesehatan RI, 2021).

Keunggulan: Murah, mudah diterapkan, ramah lingkungan.

Kendala: Ketergantungan pada kondisi air dan kemampuan ikan bertahan hidup.

b. Aplikasi *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti)

Deskripsi: Bakteri ini menghasilkan toksin yang membunuh larva nyamuk tanpa merusak organisme lain (Lacey, 2007).

Metode: Disemprotkan atau ditebarkan kegenangan air yang

menjadi tempat berkembang biak larva nyamuk.

Contoh Aplikasi: WHO merekomendasikan Bti dalam program pengendalian vektor global. Di Indonesia, Bti digunakan oleh Kementerian Kesehatan sebagai bagian dari program “Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) Plus” (Kementerian Kesehatan RI, 2021; Becker et al., 2010).

c. Pelepasan Nyamuk *Aedes aegypti* Ber-*Wolbachia*

Deskripsi: Nyamuk *Aedes aegypti* yang telah disuntik bakteri *Wolbachia* tidak dapat menularkan virus dengue karena bakteri ini menghambat replikasi virus di dalam tubuh nyamuk (Caragata et al., 2018; Ritchie & Johnson, 2017).

Contoh Aplikasi:

- Program “World Mosquito Program (WMP)” bekerja sama dengan Universitas Gadjah Mada (UGM) dan Kemenkes RI sejak 2017 di Kota Yogyakarta dan Semarang (World Mosquito Program Indonesia – UGM, 2021).
- Hasilnya menunjukkan penurunan signifikan kasus DBD hingga 77% di area intervensi
- Sumber: World Mosquito Program Indonesia – UGM

d. Teknik Serangga Mandul (Sterile Insect Technique)

Deskripsi: Nyamuk jantan disterilkan melalui radiasi atau modifikasi genetik, kemudian dilepaskan ke alam. Ketika mereka kawin dengan betina liar, tidak ada keturunan yang dihasilkan (WHO & IAEA, 2020).

Contoh Aplikasi: IAEA (International Atomic Energy Agency) mendukung pilot project SIT untuk *Aedes aegypti* di Indonesia (Bali dan Yogyakarta).

Kelebihan: Efektif mengurangi populasi nyamuk dalam jangka panjang.

Kendala: Biaya awal tinggi dan butuh fasilitas khusus.

e. Pemanfaatan Jamur Entomo patogen

Deskripsi: Jamur seperti *Beauveria bassiana* dan *Metarhizium anisopliae* dapat menyebabkan kematian nyamuk dewasa (Scholte & Takken, 2007).

Metode Aplikasi: Jamur diaplikasikan pada permukaan dinding atau kain kasa di sekitar rumah. Ketika nyamuk kontak dengan permukaan tersebut, jamur menginfeksi tubuhnya.

Contoh Penelitian: Uji lapangan di Indonesia menunjukkan efektivitas *Metarhizium anisopliae* mencapai 80% terhadap nyamuk *Aedes aegypti* (Scholte & Takken, 2007; Yap & Lee, 2019).

2. Aplikasi Berbasis Lingkungan dan Edukasi

- a. Konservasi Musuh Alami: Menjaga keberadaan predator alami seperti ikan, capung, dan laba-laba di lingkungan sekitar (Yap & Lee, 2019; WHO, 2012).
- b. Edukasi Masyarakat: Program “3M Plus” diperluas menjadi “3M Plus Biokontrol”, yang menekankan penggunaan agen hayati di rumah tangga (Kementerian Kesehatan RI, 2021; WHO, 2012).
- c. Integrasi dengan Teknologi Informasi: Beberapa daerah menggunakan aplikasi digital untuk memantau lokasi genangan air dan penyebaran agen hayati secara real-time (World Health Organization, 2012; Yap & Lee, 2019).

3. Evaluasi Efektivitas

- a. Evaluasi dilakukan melalui pengamatan jumlah larva atau kepadatan nyamuk sebelum dan sesudah intervensi (Service, 2012; Becker et al., 2010).
- b. Parameter seperti *Larval Index*, *House Index*, dan *Breteau Index* digunakan untuk menilai keberhasilan program (Kementerian Kesehatan RI, 2021; WHO, 2012).
- c. Keberhasilan tertinggi tercatat pada kombinasi metode hayati dan pemberdayaan masyarakat (Yap & Lee, 2019; World Mosquito Program Indonesia – UGM, 2021).

D. KEBIJAKAN PEMERINTAH

1. Landasan Hukum dan Kebijakan Umum

Pemerintah Indonesia telah menetapkan sejumlah kebijakan dan

regulasi yang mendukung pengendalian vektor, termasuk dengan pendekatan pengendalian secara hayati (biologis). Kebijakan tersebut mengacu pada prinsip Pengendalian Vektor Terpadu (*Integrated Vector Management/IVM*) yang menekankan keseimbangan antara efektivitas, keamanan lingkungan, dan keberlanjutan (WHO,2012; WHO, 2023).

Beberapa dasar hukum dan kebijakan yang menjadi acuan antara lain:

- a. Undang – Undang Nomor 36 Tahun 2009 tentang Kesehatan
Pasal 162 – 165 menegaskan bahwa upaya pengendalian penyakit menular dilakukan dengan pengendalian vektor secara terpadu, aman bagi manusia dan ramah lingkungan (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2009).
- b. Peraturan Menteri Kesehatan (Permenkes) Nomor 374/MENKES/PER/III/2010 tentang Pengendalian Vektor
 - 1) Mengatur prinsip – prinsip pelaksanaan pengendalian vektor penyakit berbasis lingkungan dan ekosistem.
 - 2) Menekankan penggunaan metode pengendalian vektor ramah lingkungan termasuk biologis, fisik dan manajemen lingkungan.

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 374/MENKES/PER/III/2010 tentang Pengendalian Vektor merupakan dasar hukum nasional yang mengatur upaya pengendalian vektor penyakit secara terpadu, efektif, dan ramah lingkungan. Peraturan ini menegaskan bahwa pengendalian vektor dapat dilakukan melalui metode fisik, kimiawi, biologis, dan pengelolaan lingkungan. Salah satunya adalah pengendalian secara hayati (biologis), yaitu penggunaan organisme hidup seperti ikan pemakan jentik, bakteri *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti), atau agen biologis lain yang aman bagi manusia dan tidak mengganggu keseimbangan ekosistem. Permenkes ini menjadi landasan bagi pelaksanaan berbagai inovasi pengendalian vektor di Indonesia, termasuk penerapan teknologi *Wolbachia* dalam pengendalian nyamuk *Aedes aegypti* penyebab Demam

Berdarah Dengue (DBD), yang sejalan dengan prinsip pengendalian vektor berkelanjutan dan berbasis ekologi (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2010; Lacey, 2007; Becker et al., 2010).

- c. Rencana Aksi Nasional Pengendalian Penyakit Tular Vektor (2020-2024)
 - 1) Ditetapkan oleh Kementerian Kesehatan RI untuk memperkuat upaya pengendalian penyakit seperti DBD, malaria dan filariasis dengan pendekatan lintas sektor
 - 2) Salah satu strategisnya adalah penerapan pengendalian hayati dan ekosistem alami untuk mengurangi ketergantungan pada insektisida kimia (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2020).
- d. Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan
Mengatur pengendalian faktor risiko lingkungan yang dapat menimbulkan penyakit, termasuk pengelolaan habitat vektor dengan cara yang tidak merusak keseimbangan ekosistem (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2014).

2. Implementasi di Lapangan

Pemerintah melalui Kementerian Kesehatan, Dinas Kesehatan Provinsi / Kabupaten Kota dan Puskesmas telah melaksanakan berbagai program berbasis hayati, antara lain:

- a. Program pengendalian DBD dengan ikan pemakan jentik (Guppy/Gambusia): dilaksanakan di berbagai daerah melalui kerja sama lintas sektor, seperti dinas kesehatan, dinas perikanan dan masyarakat (Ghosh et al., 2012; Becker et al., 2010).
- b. Pemanfaatan bakteri *Bacillus thuringiensis insrelensis* (Bti): untuk mengendalikan jentik nyamuk di lingkungan perairan, terutama di daerah endemis DBD dan malaria (Lacey, 2007; Mulla et al., 2004).
- c. Pemanfaatan musuh alami hama dan vektor: seperti jamur entomopatogen (*Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana*)

untuk mengendalikan nyamuk dan lalat (Scholte & Takken, 2007; Yap & Lee, 2019).

- d. Pemberdayaan masyarakat melalui gerakan 3M plus dan *Eco-Friendly Vector Control*: pemerintah mendorong masyarakat untuk aktif menjaga kesehatan lingkungan, memelihara ikan pemakan jentik dan mengurangi penggunaan bahan kimia (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2021; WHO, 2012).

3. Tujuan Kebijakan

Kebijakan pemerintah dalam pengendalian vektor secara hayati bertujuan untuk:

- a. Menurunkan angka kejadian penyakit tular vektor (seperti DBD, malaria, dan filariasis)
- b. Mengurangi ketergantungan terhadap insektisida kimia
- c. Menjaga keseimbangan ekosistem dan kesehatan lingkungan
- d. Meningkatkan peran serta masyarakat dalam pengendalian berbasis lingkungan (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2021).

4. Pendekatan Lintas Sektor

Pendekatan pengendalian hayati tidak hanya menjadi tanggung jawab sektor kesehatan, tetapi juga melibatkan:

- a. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK): konservasi dan perlindungan ekosistem alami
- b. Kementerian Pertanian: penggunaan agens hayati dalam pertanian yang berpotensi mendukung pengendalian vektor
- c. Pemerintah Daerah: penerapan kebijakan lokal dan edukasi masyarakat (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2020).
- d. Perguruan Tinggi dan Lembaga Penelitian: inovasi dan pengembangan teknologi hayati yang ramah lingkungan (Ritchie & Johnson, 2017; World Mosquito Program Indonesia – Universitas Gadjah Mada, 2021).

E. INDIKATOR

Indikasi pengendalian vector secara hayati mengacu pada tanda-tanda atau perubahan yang muncul pada populasi vector atau lingkungan setelah diterapkannya metode pengendalian biologis (World Health Organization [WHO], 2012; Becker et al., 2010).

Berikut beberapa gejala yang dapat diamati:

1. Penurunan populasi vektor secara bertahap
Setelah dilepaskannya predator, parasit atau patogen alami (misalnya ikan pemakan jentik, jamur entomopatogen, atau bakteri *Bacillus thuringiensis israelensis*), jumlah vektor seperti nyamuk atau lalat akan menurun secara perlahan namun berkelanjutan.
2. Meningkatnya aktivitas musuh alami di habitat vektor
Peningkatan populasi ikan gambusia affinis atau *Poecilia reticulata* di kolam dan saluran air yang menjadi tempat berkembang biak jentik nyamuk.
3. Stabilitas ekosistem mulai terbentuk
Ekosistem perairan atau lingkungan menjadi lebih seimbang karena interaksi antara organisme pengendali dan vektor mulai menyesuaikan diri secara alami tanpa menimbulkan gangguan ekologis besar.
4. Menurunnya tingkat infeksi atau penularan penyakit vektor
Karena populasi vektor pembawa penyakit (misalnya nyamuk *Aedes aegypti* penyebab DBD) berkurang, angka kasus penyakit yang ditularkan vektor juga akan menurun dalam jangka waktu tertentu.
5. Tidak ditemukan efek toksik terhadap organisme non – target
Tidak seperti penggunaan insektisida kimia, pengendalian hayati tidak menimbulkan kematian pada hewan atau tumbuhan lain di sekitar lokasi intervensi.
6. Keseimbangan populasi organisme lain tetap terjaga
Spesies lain di lingkungan tidak mengalami gangguan yang berarti karena pengendalian hanya menargetkan vektor tertentu.

F. TAHAP PENERAPAN

1. Tahap Introduksi (Pengenalan Agen Hayati)
 - a. Agen hayati (misalnya ikan pemakan jentik *poecilia reticulata*)

atau bakteri *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) diperkenalkan ke habitat vektor seperti kolam, genangan air atau wadah penampungan air

- b. Tujuannya membangun populasi awal agen biologis di ekosistem target.
2. Tahap Adaptasi Dan Reproduksi
 - a. Agen hayati mulai beradaptasi dengan kondisi lingkungan (suhu, pH, kadar oksigen, dll)
 - b. Jika cocok, agen hayati berkembang biak secara alami
 - c. Contohnya:
 - 1) Ikan pemakan jentik bertelur dan menetas → populasi meningkat
 - 2) Bakteri Bti berkembang dan menghasilkan spora toksik bagi larva nyamuk
3. Tahap Interaksi (Pemangsa atau Infeksi Terhadap Vektor)
 - a. Agen hayati mulai berinteraksi dengan populasi vektor:
 - 1) Predator (seperti ikan atau serangga pemangsa) memangsa larva atau pupa nyamuk
 - 2) Parasit atau Patogen (seperti jamur, bakteri atau virus entomopatogen) menginfeksi tubuh vektor dan menyebabkan kematian
 - b. Pada tahap ini populasi vektor mulai menurun
4. Tahap Pengendalian Populasi (Stabilisasi Ekosistem)

Setelah populasi menurun, sistem ekologi mencapai keseimbangan baru: agen hayati tetap ada di lingkungan dengan jumlah stabil, sementara populasi vektor tetap rendah dan tidak menimbulkan masalah kesehatan masyarakat
5. Tahap Evaluasi dan Pemeliharaan
 - a. Petugas kesehatan atau masyarakat perlu memantau keberlanjutan populasi agen hayati dan efektivitasnya
 - b. Jika populasi agen menurun, dilakukan reintroduksi atau penambahan agen baru
 - c. Tahapan ini menjadi bagian penting dari pengendalian vektor terpadu (PVT/IVM) (World Health Organization, 2012; Becker et

al., 2010).

G. PRINSIP APLIKASI

1. Menggunakan Agen Hayati (Organisme Hidup)

2. Bersifat Spesifik Terhadap Target

3. Ramah Lingkungan

4. Tidak Menimbulkan Resistensi

Berbeda dengan insektisida kimia, vektor tidak mudah menjadi kebal terhadap pengendalian hayati karena mekanisme biologisnya alami dan kompleks

5. Bekerja Secara Alami dan Berkelanjutan

Setelah diperkenalkan ke lingkungan, agen hayati dapat berkembang biak dan bertahan lama, sehingga pengendalian dapat berlangsung terus menerus tanpa perlu aplikasi berulang seperti pestisida

6. Memerlukan Waktu Yang Lebih Lama

Efek pengendalian tidak langsung terlihat karena bergantung pada siklus hidup dan proses alami agen hayati, pengurangan populasi vektor terjadi secara bertahap.

7. Dipengaruhi Oleh Kondisi Lingkungan

Efektivitas agen hayati sangat dipengaruhi oleh faktor seperti: suhu, kelembapan, pH air, ketersediaan makanan dan cahaya. Kondisi lingkungan yang tidak sesuai dapat menurunkan kemampuan agen hayati.

8. Dapat Menjadi Bagian dari Pengendalian Vektor Terpadu (PVT/IVM)

Pengendalian hayati sering dikombinasikan dengan metode lain seperti pengendalian lingkungan, mekanis, dan kimia secara selektif untuk hasil yang optimal (World Health Organization, 2012; Becker et al., 2010).

H. KELEBIHAN DAN KEKURANGAN

1. Kelebihan

a. Ramah Lingkungan

Tidak menimbulkan pencemaran tanah, air dan udara karena

tidak menggunakan bahan kimia beracun

b. Spesifik Terhadap Sasaran

Agen hayati biasanya hanya menyerang vektor tertentu tanpa mengganggu organisme lain yang bukan target

c. Tidak Menimbulkan Resistensi

Berbeda dengan insektisida kimia, penggunaan agen biologis jarang menyebabkan vektor menjadi kebal atau resisten

d. Berpotensi Memberikan Efek Jangka Panjang

Jika agen biologis berhasil beradaptasi di lingkungan, dapat menetap dan mengendalikan populasi vektor secara berkelanjutan

e. Lebih Aman Bagi Manusia Dan Hewan Peliharaan

Karena tidak menimbulkan efek toksik langsung seperti bahan kimia sintesis

f. Mendukung Keseimbangan Ekosistem

Mempertahankan interaksi alami antara predator, parasit dan mangsa sehingga menjaga stabilitas ekosistem lokal (World Health Organization [WHO], 2012; Becker et al., 2010).

2. Kekurangan

a. Efeknya Relatif Lambat

Hasil pengendalian tidak terlihat secara cepat seperti penggunaan insektisida kimia

b. Tergantung Kondisi Lingkungan

Efektivitas agen biologis sangat dipengaruhi oleh suhu, pH, kelembaban dan ketersediaan makanan

c. Sulit Dikontrol Secara Penuh

Setelah dilepaskan ke alam populasi agen biologis bisa dikendalikan atau diprediksi perilakunya

d. Tidak Selalu Cocok Untuk Semua Vektor

Tidak semua jenis vektor dapat dikendalikan dengan agen hayati, beberapa memerlukan pendekatan kombinasi dengan metode lain

e. Membutuhkan Waktu Dan Biaya Penelitian Yang Besar

Untuk memastikan keamanan, efektivitas dan dampak ekologis

sebelum agen dilepaskan ke lingkungan

f. Risiko Gangguan Ekologi Bila Tidak Terkontrol

Jika agen hayati bukan spesies lokal, ada potensi mengganggu rantai makanan atau menekan populasi organisme non-target (World Health Organization [WHO], 2012; Becker et al., 2010).

DAFTAR PUSTAKA

- Becker, N., Petric, D., Zgomba, M., Boase, C., Madon, M., Dahl, C., & Kaiser, A. (2010). *Mosquitoes and Their Control* (2nd ed.). Springer-Verlag.
- Caragata, E. P., O'Neill, S. L., & Kitching, R. L. (2018). The use of *Wolbachia* to control vector-borne diseases. *Microbiology Australia*, 39(1), 19–23.
- Effler, P. V., Pang, L., Kitsutani, P., et al. (2012). Successful application of biological control using copepods in mosquito reduction programs. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 87(4), 700–706. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2012.12-0124>
- Ghosh, A., Hati, A. K., & Chandra, G. (2012). Field evaluation of larvivorous fish for mosquito control in West Bengal, India. *Journal of Vector Borne Diseases*, 49, 199–202.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2010). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 374/MENKES/PER/III/2010 tentang Pengendalian Vektor*. Jakarta: Kemenkes RI.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2020). *Rencana Aksi Nasional Pengendalian Penyakit Tular Vektor Tahun 2020–2024*. Jakarta: Kemenkes RI.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2014). *Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan*. Jakarta: Kemenkes RI.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2009). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 36 Tahun 2009 tentang Kesehatan*. Jakarta: Kemenkes RI.

- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2021). *Pedoman Pengendalian Demam Berdarah Dengue (DBD) di Indonesia*. Jakarta: Direktorat P2PM.
- Lacey, L. A. (2007). *Bacillus thuringiensis* serovariety *israelensis* and *Bacillus sphaericus* for mosquito control. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 23(2), 133–163. [https://doi.org/10.2987/8756-971X\(2007\)23\[133:BTSIAB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2987/8756-971X(2007)23[133:BTSIAB]2.0.CO;2)
- Mulla, M. S., Thavara, U., Tawatsin, A., & Chompoonsri, J. (2004). Procedures for testing efficacy of microbial control agents against mosquito larvae. *Journal of Vector Ecology*, 29(2), 247–253.
- Ritchie, S. A., & Johnson, P. H. (2017). Mosquito control and the Wolbachia method: Field evaluation and implementation. *Annual Review of Entomology*, 62, 435–450. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-031616-035208>
- Service, M. W. (2012). *Medical Entomology for Students* (5th ed.). Cambridge University Press.
- Scholte, E. J., & Takken, W. (2007). Entomopathogenic fungi for mosquito control: A review. *Journal of Insect Science*, 7(1), 1–24. <https://doi.org/10.1673/031.007.0401>
- World Health Organization (WHO). (2012). *Handbook for Integrated Vector Management*. Geneva: WHO Press.
- WHO & IAEA. (2020). *Guidance Framework for Testing the Sterile Insect Technique as a Vector Control Tool against Aedes-Borne Diseases*. Geneva: WHO and International Atomic Energy Agency.
- World Mosquito Program Indonesia – Universitas Gadjah Mada. (2021). *Laporan Hasil Implementasi Nyamuk Ber-Wolbachia di Kota Yogyakarta dan Semarang*. Yogyakarta: WMP Indonesia.
- World Health Organization. (2023). *Global Vector Control Response 2017–2030: Progress Report 2022*. Geneva: WHO Press.
- World Health Organization (2012) *Handbook for Integrated Vector Management*. Geneva: WHO Press.
- World Health Organization. (2020). *Vector-Borne Diseases Key Facts*. Geneva: WHO. Retrieved from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases>

Book Chapter Health Series – Chapter 2 “Pengendalian Vektor”

Health Science UDINUS-ISSN: 3032-2170

Yap, H. H., & Lee, C. Y. (2019). Biological control of mosquitoes and vector management in the tropics. *Tropical Biomedicine*, 36(2), 329–342.