

Siwi Pramatama Mars Wijayanti

Vektor Penyakit dan Metode Pengendaliannya



Vektor Penyakit dan Metode Pengendaliannya

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Diterbitkan pertama pada 2024 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: penerbit.brin.go.id



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).

Lisensi ini mengizinkan Anda untuk berbagi, mengopi, mendistribusikan, dan mentransmisi karya untuk penggunaan personal dan bukan tujuan komersial, dengan memberikan atribusi sesuai ketentuan. Karya turunan dan modifikasi harus menggunakan lisensi yang sama.

Informasi detail terkait lisensi CC BY-NC-SA 4.0 tersedia melalui tautan: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Siwi Pramatama Mars Wijayanti

Vektor Penyakit dan Metode Pengendaliannya

Penerbit BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2024 Siwi Pramatama Mars Wijayanti

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Vektor Penyakit dan Metode Pengendaliannya/Siwi Pramatama Mars Wijayanti–Jakarta:
Penerbit BRIN, 2024.

xviii + 182 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-623-8372-69-0 (*e-book*)

- | | |
|-----------------|--------------------|
| 1. Epidemiologi | 2. Vektor Penyakit |
| 3. Pencegahan | 4. Pengendalian |

614.4

Editor Akuisisi	: Indah Susanti
<i>Copy editor</i>	: Emsa Ayudia
<i>Proofreader</i>	: Rina Kamila & Prapti Sasiwi
Penata isi	: Hilda Yunita & Rina Kamila
Desainer Sampul	: Hilda Yunita

Edisi Pertama : Agustus 2024



Diterbitkan oleh:

Penerbit BRIN, anggota Ikapi
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B.J. Habibie Lt. 8, Jl. M.H. Thamrin No. 8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340

Whatsapp: +62 811-1064-6770

E-mail: penerbit@brin.go.id

Website: penerbit.brin.go.id

 Penerbit BRIN
 @penerbit_brin
 @penerbit.brin

Buku ini tidak diperjualbelikan.



DAFTAR ISI

Daftar Gambar.....	ix
Daftar Tabel.....	xi
Pengantar Penerbit.....	xiii
Kata Pengantar	xv
Prakata	xvii
BAB 1 PENGERTIAN DAN JENIS-JENIS VEKTOR PENYAKIT	1
A. Pengertian Vektor Penyakit.....	1
B. Beban Masalah Penyakit Tular Vektor	2
C. Mekanisme Penularan Penyakit Tular Vektor.....	3
D. Jenis-Jenis Vektor Penyakit	4
E. Contoh-Contoh Vektor	6
BAB 2 RUANG LINGKUP PENGENDALIAN VEKTOR.....	13
A. Pengertian Pengendalian Vektor	13
B. Sejarah Pengendalian Vektor	14
C. Tujuan dan Manfaat Pengendalian Vektor	16
D. Tantangan dan Hambatan Pengendalian Vektor	17
E. Prinsip Pengendalian Vektor.....	17
F. Jenis Metode Pengendalian Vektor	19

BAB 3	METODE PENGENDALIAN VEKTOR SECARA MEKANIS, FISIK, DAN LINGKUNGAN.....	21
	A. Pengendalian Vektor secara Mekanis	21
	B. Pengendalian Vektor secara Fisik.....	22
	C. Metode Pengendalian dengan Pengelolaan Lingkungan..	23
BAB 4	METODE PENGENDALIAN VEKTOR SECARA BIOLOGIS	29
	A. Prinsip Pengendalian Vektor secara Biologis.....	29
	B. Contoh Pengendalian Vektor secara Biologis	29
BAB 5	METODE PENGENDALIAN VEKTOR SECARA KIMIAWI.....	41
	A. Konsep Pengendalian Vektor secara Kimiawi	41
	B. Insektisida	41
	C. Pengelompokkan Insektisida.....	43
	D. Formulasi Insektisida	47
	E. Metode Penggunaan Insektisida.....	52
	F. Bahaya dan Toksisitas Insektisida.....	61
	G. Pengelolaan Insektisida	63
	H. Penggunaan Insektisida yang Aman	66
BAB 6	RESISTENSI INSEKTISIDA	67
	A. Resistensi Insektisida.....	67
	B. Mekanisme Resistensi Insektisida	69
	C. Faktor-Faktor yang Menyebabkan Terjadinya Resistensi Insektisida.....	70
	D. Metode Deteksi Resistensi Insektisida	72
	E. Upaya MeminimalKAN Resistensi Insektisida	74
	A. Konsep Pengendalian Vektor Secara Terintegrasi	77
BAB 7	METODE PENGENDALIAN VEKTOR PENYAKIT SECARA TERINTEGRASI.....	77
	B. Elemen Kunci dari <i>Integrated Vector Management</i> (IVM).....	78
	C. Perencanaan dan Penerapan Pengendalian Vektor.....	81
	D. Empat Pilar Penting Penerapan <i>Integrated Vector Management</i> (IVM).....	82
	E. Penelitian Terkini Terkait Penerapan IVM pada Pengendalian Vektor	84

F.	Tantangan dan Kesenjangan Pengetahuan (<i>Gap Of Knowledge</i>) pada Implementasi IVM.....	85
G.	Interaksi yang tidak Efektif antara Peneliti dan Pelaksana Program	87
H.	Dukungan Keuangan yang tidak Memadai untuk Pengendalian Vektor	88
BAB 8	PERKEMBANGAN TERKINI METODE PENGENDALIAN ... VEKTOR	89
A.	Teknik Serangga Mandul	89
B.	Pengendalian Biologis dengan Bakteri <i>Wolbachia</i>	93
C.	<i>Spatial Repellent/Repelen Spasial (SR)</i>	97
BAB 9	NYAMUK DAN METODE PENGENDALIANNYA	103
A.	Biologi Nyamuk	103
B.	Bionomik Nyamuk	113
C.	Permasalahan Kesehatan Oleh Nyamuk <i>Aedes, Anopheles, Culex, dan Mansonia</i>	119
D.	Pencegahan dan Pengendalian Nyamuk.....	123
BAB 10	LALAT DAN METODE PENGENDALIANNYA.....	129
A.	Biologi dan Bionomik Lalat.....	129
B.	Permasalahan Kesehatan	144
C.	Pencegahan dan Pengendalian	149
BAB 11	KECOAK DAN PENGENDALIANNYA.....	153
A.	Biologi Kecoak	153
B.	Bionomik Kecoak	157
C.	Permasalahan Kesehatan Akibat Kecoak.....	159
D.	Pencegahan dan Pengendalian Kecoak.....	160
Referensi	163
Tentang Penulis	179
Indeks	181

Buku ini tidak diperjualbelikan.



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Siklus Hidup Nyamuk	8
Gambar 2.1	Metode Pengendalian Vektor	20
Gambar 3.1	Contoh Pengendalian secara Mekanis	22
Gambar 4.1	Ikan <i>Gambusia affinis</i>	32
Gambar 4.2	Ikan <i>Poecilia reticulata</i>	34
Gambar 4.3	Nyamuk Dewasa <i>Tx. splendens</i>	37
Gambar 7.1	Lima Elemen Kunci dalam IVM	79
Gambar 7.2	Langkah-Langkah Penerapan IVM	82
Gambar 8.1	Mekanisme <i>Cytoplasmic Incompatibility</i> pada Serangga dengan <i>Wolbachia</i>	96
Gambar 9.1	Siklus Hidup Nyamuk	106
Gambar 9.2	Morfologi <i>Anopheles</i> Dewasa.....	108
Gambar 10.1	Siklus Hidup <i>Musca domestica</i>	132
Gambar 11.1	Siklus Hidup Kecoaak	157

Buku ini tidak diperjualbelikan.



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Jenis Vektor dan Penyakit yang Ditimbulkan	6
Tabel 1.2	Jenis Vektor dan Teknik Pengendaliannya	11
Tabel 4.1	Contoh-Contoh Pengendalian Vektor secara Biologis	30
Tabel 4.2	Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan Ikan Pemangsa Larva	35
Tabel 5.1	Label Keterangan Insektisida	62
Tabel 6.1	Perbedaan Konsentrasi Insektisida untuk Nyamuk Dewasa pada <i>Susceptibility Test</i> (Paparan 1 Jam)	73
Tabel 7.1	Rincian Kelima Elemen dalam <i>Integrated Vector Management</i>	79
Tabel 7.2	Pertanyaan Penting dalam Perencanaan IVM	81
Tabel 11.1	Perbedaan Morfologi Beberapa Spesies Kecoak	156
Tabel 11.2	Perbedaan Bionomik Kecoak	158

Buku ini tidak diperjualbelikan.



PENGANTAR PENERBIT

Sebagai penerbit ilmiah, Penerbit BRIN mempunyai tanggung jawab untuk terus berupaya menyediakan terbitan ilmiah yang berkualitas. Upaya tersebut merupakan salah satu perwujudan tugas Penerbit BRIN untuk turut serta membangun sumber daya manusia unggul dan mencerdaskan kehidupan bangsa sebagaimana yang diamanatkan dalam pembukaan UUD 1945.

Setiap tahun, penyakit yang ditularkan melalui vektor merupakan penyebab lebih dari 17% dari semua penyakit menular yang mengakibatkan lebih dari 700.000 kematian secara global, seperti malaria, demam berdarah dengue (DBD), cikungunya, filariasis, penyakit tidur afrika, penyakit *chagas*, dan demam kuning.

Lebih dari 3,9 miliar orang di lebih dari 128 negara berisiko tertular DBD, dengan 96 juta kasus diperkirakan per tahun. Malaria menyebabkan lebih dari 400.000 kematian setiap tahun secara global, kebanyakan adalah anak di bawah usia 5 tahun. Penyakit lain, seperti penyakit *chagas*, *leishmaniasis*, dan *schistosomiasis* menginfeksi ratusan juta orang di seluruh dunia. Banyak dari penyakit tular vektor tersebut sebenarnya dapat dicegah melalui tindakan pencegahan dan pengendalian.

Buku ini sangat tepat dibaca untuk memahami jenis-jenis vektor penyakit, serta berbagai metode pengendalian vektor, termasuk

pengendalian secara terintegrasi. Buku ini juga dilengkapi dengan hasil-hasil penelitian terkini. Selain itu, buku ini diharapkan dapat memperkaya buku-buku bertema serupa di Indonesia

Kami berharap hadirnya buku ini dapat menjadi referensi bacaan untuk menambah wawasan dan pengetahuan bagi seluruh pembaca. Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penerbitan buku ini.

Penerbit BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan.



KATA PENGANTAR

Para Pembaca,

Penyakit tular vektor seperti penyakit demam berdarah dengue (DBD), malaria, cikungunya, dan filariasis masih menjadi permasalahan kesehatan penting di Indonesia. Iklim tropis menjadikan Indonesia sebagai area yang sangat sesuai bagi perkembangbiakan berbagai vektor penyakit seperti nyamuk, lalat, dan kecoak. Indonesia merupakan rumah bagi berbagai spesies nyamuk. Menurut perkiraan, ada lebih dari 450 spesies nyamuk yang tersebar di seluruh kepulauan Indonesia. Beberapa di antara spesies-spesies tersebut adalah vektor potensial penyakit menular seperti malaria, DBD, filariasis, dan cikungunya

Oleh karena itu, saya turut senang dan bangga atas terbitnya buku *Vektor Penyakit dan Metode Pengendaliannya*. Buku ini menghadirkan informasi menyeluruh tentang vektor-vektor penyakit serta berbagai metode pengendaliannya. Hal yang menarik, buku ini memberikan tambahan informasi dari penelitian-penelitian terkini tentang pengendalian vektor. *Integrated vector management* (IVM) secara khusus dibahas dalam satu bab, yang menjadi salah satu keunggulan buku ini. Selain itu, diulas tuntas pula berbagai pengendalian vektor terkini, seperti implementasi bakteri *Wolbachia* dan repelen spasial. Secara spesifik, bionomik, dan metode pengendalian berbagai vektor

Buku ini tidak diperjualbelikan.

penyakit seperti nyamuk, lalat, dan kecoak juga dibahas dengan detail pada bab tersendiri.

Buku ini sangat saya rekomendasikan untuk bahan referensi para peneliti penyakit tular vektor, pemerhati kesehatan masyarakat, dan juga para mahasiswa yang tertarik tentang vektor penyakit. Harapannya, dengan bertambahnya pengetahuan tentang vektor penyakit dan berbagai metode pengendaliannya, dapat mendukung pelaksanaan program-program pencegahan dan pengendalian penyakit tular vektor. Semoga ke depannya, masyarakat lebih peduli untuk berpartisipasi aktif dalam pencegahan penyakit tular vektor sehingga angka kasusnya di Indonesia makin menurun.

Akhirnya, saya ingin menyampaikan apresiasi saya kepada penulis atas dedikasi dan kerja keras dalam menulis dan menyusun buku ini. Semoga buku ini mampu memberikan kontribusi yang berarti dalam upaya meningkatkan kesehatan dan kesejahteraan masyarakat melalui pengendalian penyakit tular vektor.

Selamat membaca.

Prof. Dr.rer.nat. Imam Widhiono MZ, MS
Direktur Pasca Sarjana Universitas Jenderal Soedirman
dan Pakar Entomologi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

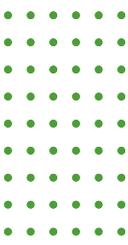


PRAKATA

Alhamdulillah. Penulis panjatkan syukur atas ke hadirat Allah Swt. karena rahmat-Nya, buku ini dapat diterbitkan. Buku ini ditulis sebagai referensi buku ilmiah terkait vektor penyakit dan metode pengendaliannya. Buku ini merupakan edisi revisi dari buku sebelumnya yang berjudul *Pengendalian Vektor Epidemiologi*. Buku ini ditulis untuk para pemerhati penyakit tular vektor, praktisi, peneliti, akademisi, serta mahasiswa. Hingga saat ini, penyakit tular vektor di Indonesia, seperti demam berdarah dengue (DBD), malaria, dan cikungunya masih terus terjadi serta menjadi permasalahan kesehatan yang penting. Oleh karena itu, informasi vektor yang menularkan penyakit tersebut dan cara pengendaliannya harus terus disebarluaskan.

Buku ini berisi informasi ilmiah komprehensif mengenai vektor penyakit dan cara pengendaliannya. Selain itu, terdapat informasi terkini mengenai metode pengendalian vektor serta diperkaya oleh hasil berbagai penelitian terbaru. Buku ini diharapkan dapat menjadi sumber bacaan ilmiah yang lengkap untuk berbagai kalangan, baik akademisi, mahasiswa, peneliti, maupun pihak lainnya yang tertarik mengenai vektor penyakit. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang membantu dalam proses penerbitan buku ini. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat yang luas.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Bab 1

PENGERTIAN DAN JENIS- JENIS VEKTOR PENYAKIT

A. PENGERTIAN VEKTOR PENYAKIT

Vektor dalam kesehatan secara sederhana dipahami sebagai “pembawa atau penular agen penyakit”. Vektor merupakan organisme yang tidak menyebabkan penyakit, tetapi berperan menyebarkannya dengan membawa agen atau patogen dari satu inang ke inang yang lain. Patogen yang ditularkan tersebut dapat berupa virus, bakteri, ataupun parasit. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia (Permenkes RI) Nomor 374 Tahun 2010, vektor merupakan hewan artropoda yang dapat menularkan, memindahkan, atau menjadi sumber penularan penyakit terhadap manusia (Permenkes No. 374, 2010). Oleh karena itu, penyakit yang ditularkan melalui vektor ini sering disebut sebagai *vector-borne disease*. Kebanyakan vektor penyakit merupakan jenis artropoda (hewan berbuku-buku) sehingga sering pula penyakit yang ditularkan oleh vektor ini disebut *arthropod-borne disease*. Beberapa contoh vektor penyakit, yakni nyamuk, lalat, kutu, caplak, dan kecoak.

Hal penting yang harus dapat dibedakan, yakni antara istilah *agent* (agen/penyebab penyakit) dan vektor (pembawa/penular penyakit), karena kedua istilah ini dapat disalahartikan/rancu. Agen merupakan mikroorganisme hidup, seperti virus, bakteri, parasit, maupun non-hidup, seperti fisik, radiasi, mekanis, yang dapat menyebabkan

penyakit. Sementara itu, vektor hanya berperan sebagai pembawa ataupun penular. Contoh sederhananya, agen penyebab penyakit demam berdarah dengue (DBD) adalah virus dengue, sementara vektor pembawanya adalah nyamuk *Aedes* sp.

Istilah lain yang perlu diketahui adalah “reservoir”, yakni hewan-hewan yang di dalam tubuhnya terdapat kuman patogen, tetapi tidak terkena penyakit tersebut. Sebagai contoh, binatang pengerat dan kuda merupakan reservoir untuk virus *encephalitis*. Kemudian, penyakit riketsia merupakan *Arthropod-borne disease* yang hidup di dalam reservoir alamiah, seperti tikus, anjing, serigala, serta manusia yang menjadi reservoir untuk penyakit ini (Plourde et al., 2017).

B. BEBAN MASALAH PENYAKIT TULAR VEKTOR

Penyakit tular vektor merupakan penyakit yang disebabkan oleh parasit, virus, dan bakteri yang ditularkan oleh vektor, seperti nyamuk, *sand flies*, *bug triatomine*, lalat hitam, kutu, lalat tsetse, tungau, dan kutu. Setiap tahun, terdapat lebih dari 700.000 kematian secara global akibat penyakit, seperti malaria, DBD, *schistosomiasis* (infeksi cacingan), tripanosomiasis afrika (penyakit tidur afrika), *leishmaniasis* (infeksi kulit), penyakit chagas, demam kuning, *japanese encephalitis* (JE atau virus ensefalitis jepang), dan *onchocerciasis* (onkosersiasis atau infeksi yang disebabkan oleh cacing parasit *Onchocerca volvulus*). Penyakit yang ditularkan melalui vektor merupakan penyebab >17% dari semua penyakit menular mengakibatkan >700.000 kematian setiap tahunnya. Lebih dari 3,9 miliar orang di lebih dari 128 negara berisiko tertular DBD dengan 96 juta kasus diperkirakan per tahun. Malaria menyebabkan lebih dari 400.000 kematian setiap tahun secara global, kebanyakan merupakan anak di bawah usia 5 tahun. Penyakit lain, seperti penyakit chagas, *leishmaniasis*, dan *schistosomiasis* menginfeksi ratusan juta orang di seluruh dunia. Banyak dari penyakit tular vektor ini sebenarnya dapat dicegah melalui tindakan pencegahan dan pengendalian (World Health Organization [WHO], 2017).

Beban penyakit tular vektor ini paling banyak terjadi di daerah tropis dan subtropis. Hal ini dimungkinkan karena kondisi lingkungan tropis yang cocok untuk tempat perindukan vektor. Iklim tropis cenderung memiliki suhu yang konsisten tinggi sepanjang tahun. Suhu yang hangat/panas akan mempercepat perkembangan telur, larva, dan pupa nyamuk yang memungkinkan nyamuk berkembang biak dengan lebih cepat. Distribusi penyakit yang ditularkan melalui vektor ditentukan oleh beberapa faktor, seperti keadaan demografis, lingkungan, dan kondisi sosial yang kompleks. Transportasi, perdagangan global, urbanisasi yang tidak direncanakan, dan tantangan lingkungan seperti perubahan iklim dapat pula berdampak pada penularan patogen yang membuat musim penularan lebih lama atau lebih intens, ataupun menyebabkan penyakit muncul di negara-negara di mana sebelumnya tidak ditemukan penyakit tersebut (LaDeau et al., 2015).

Perubahan dalam pola pertanian karena variasi suhu dan curah hujan juga dapat memengaruhi penularan penyakit yang ditularkan melalui vektor. Pertambahan daerah kumuh perkotaan, kekurangan air bersih, atau pengelolaan limbah padat yang memadai, dapat membuat suatu area berisiko terkena penyakit virus yang disebarkan oleh nyamuk. Faktor-faktor tersebut secara bersama-sama memengaruhi populasi vektor dan pola penularan patogen penyebab penyakit (Wilcox et al., 2019).

C. MEKANISME PENULARAN PENYAKIT TULAR VEKTOR

Mekanisme masuknya agen penyakit ke dalam tubuh inang (*host*) melalui perantara vektor dapat melalui dua cara berikut.

1) Inokulasi (*Inoculation*)

Pada mekanisme ini, cara masuknya agen penyakit dari vektor artropoda ke dalam tubuh manusia melalui gigitan pada kulit atau deposit pada membran mukosa.

2) Infestasi (*Infestation*).

Pada mekanisme ini, cara masuknya artropoda melalui permukaan tubuh manusia, kemudian berkembang biak. Sebagai contoh penyakit *scabies*.

Biasanya, vektor menularkan bibit penyakit melalui gigitannya. Sebagai contoh, nyamuk *Aedes*, untuk dapat menjadi vektor potensial harus menggigit orang yang terinfeksi virus dengue. Kemudian, setelah virus tersebut masuk ke dalam tubuh nyamuk, lalu sampai kelenjar saliva, barulah nyamuk dapat menularkan ke inang yang lain melalui gigitan. Selain itu, penularan bisa juga terjadi melalui permukaan tubuh vektor, misalnya pada lalat yang merupakan agen penyakit seperti bakteri yang menempel pada bagian permukaan lalat sehingga ketika lalat tersebut terbang dan hinggap pada makanan atau minuman, lalat dapat menularkan penyakit.

Dalam proses penularan penyakit, terdapat waktu yang diperlukan untuk vektor, dari masuknya agen penyakit sampai terjadinya atau timbulnya gejala penyakit yang biasa disebut masa inkubasi (*incubation period*). Terdapat dua periode masa inkubasi pada penyakit tular vektor, yaitu yang terjadi pada tubuh vektor dan pada manusia. Waktu yang diperlukan untuk perkembangan agen penyakit dalam tubuh vektor disebut sebagai masa inkubasi ekstrinsik (*extrinsic incubation period*/EIP). Sebagai contoh, parasit malaria dalam tubuh nyamuk *Anopheles* membutuhkan masa inkubasi sekitar 10–14 hari tergantung dengan temperatur lingkungan. Sementara itu, masa inkubasi intrinsik (*intrinsic incubation period*/IIP) dalam tubuh manusia berkisar antara 12–30 hari, tergantung dengan jenis *Plasmodium* malaria (Tjaden et al., 2013).

D. JENIS-JENIS VEKTOR PENYAKIT

Terdapat dua jenis vektor penyakit yang dibagi menurut jenisnya.

1) Vektor Mekanik

Vektor mekanik merupakan vektor yang membawa agen penyakit dan menularkannya kepada inang melalui kaki-kakinya

ataupun seluruh bagian luar tubuhnya. Agen penyakitnya tidak mengalami perubahan bentuk maupun jumlah dalam tubuh vektor. Agen penyakit pada vektor mekanik, seperti virus atau bakteri, tidak masuk ke dalam tubuh vektor, tetapi hanya menempel saja. Contoh vektor mekanik, antara lain adalah kecoak dan lalat. Sebagai contoh, lalat hinggap pada sampah yang mengandung bakteri, kemudian bakteri tersebut menempel di tubuh lalat, lalu terbang dan hinggap pada makanan atau minuman. Bakteri pada tubuh lalat kemudian dapat berpindah ke makanan ataupun minuman yang terkontaminasi tersebut dan ketika dikonsumsi, manusia dapat terinfeksi bakteri tersebut (El-Sherbini, 2011).

2) Vektor Biologi

Vektor biologi merupakan vektor yang membawa agen penyakit, di mana agen penyakitnya mengalami perubahan bentuk dan atau jumlah di dalam tubuh vektor. Agen penyakit pada vektor biologi masuk dan hidup di dalam tubuh vektor, sedangkan pada vektor mekanik agen penyakit hanya menempel di anggota badan vektor saja. Berdasarkan perubahan agen penyakit dalam tubuh vektor, vektor biologi terbagi menjadi tiga jenis.

a) *Cyclo Propagative*

Cyclo propagative merupakan jenis vektor yang agen penyakitnya mengalami perubahan bentuk dan pertambahan, baik dalam jumlah dalam tubuh vektor maupun dalam tubuh inang. Contohnya adalah *Plasmodium* dalam tubuh nyamuk *Anopheles* (nyamuk malaria) betina. *Plasmodium* di tubuh nyamuk mengalami pertambahan jumlah dan perubahan bentuk dari gametosit menjadi sporozoit.

b) *Cyclo Developmental*

Cyclo developmental merupakan jenis vektor yang agen penyakitnya mengalami perubahan bentuk, tetapi tidak terjadi pertambahan jumlah dalam tubuh vektor dan tubuh inang. Sebagai contoh, pada penyakit filariasis, cacing spesies *Wuchereria bancrofti* memasuki nyamuk sebagai larva tahap pertama (L1) atau mikrofilaria dan berkembang

menjadi larva tahap ketiga (L3) tanpa bertambah jumlahnya mikrofilaria dalam tubuh manusia.

c) *Propagative*

Propagative merupakan jenis vektor yang agen penyakitnya tidak mengalami perubahan bentuk, tetapi terjadi pertambahan jumlah dalam tubuh vektor dan tubuh inang. Sebagai contoh, *Yersinia pestis* dalam tubuh kutu tikus oriental (*Xenopsylla cheopis*) ataupun virus dengue pada tubuh *Aedes aegypti*.

E. CONTOH-CONTOH VEKTOR

Salah satu contoh vektor yang banyak menyebabkan penyakit adalah nyamuk yang menularkan beberapa penyakit, seperti DBD, malaria, cikungunya. Selain itu, ada pula vektor lalat pasir (*sand flies*) yang menularkan penyakit *leishmaniasis*. Tabel 1.1 merupakan contoh-contoh vektor yang berperan dalam menimbulkan penyakit pada manusia.

Tabel 1.1 Jenis Vektor dan Penyakit yang Ditimbulkan

Jenis Vektor	Penyakit
Nyamuk	
<i>Aedes</i>	Demam Berdarah Dengue
	Cikungunya
	<i>Rift valley fever</i>
	<i>Yellow fever</i>
	<i>Zika</i>
<i>Anopheles</i>	Malaria
<i>Culex</i>	<i>Japanese encephalitis</i>
	<i>Lymphatic filariasis</i>
	<i>West Nile fever</i>
<i>Sand flies</i>	<i>Leishmaniasis</i>
	<i>Sandfly fever (phlebotomus fever)</i>
Ticks	<i>Crimean-congo haemorrhagic fever</i>
	<i>Lyme disease</i>
	<i>Relapsing fever (borreliosis)</i>
	<i>Rickettsial diseases (spotted fever dan Q fever)</i>

Jenis Vektor	Penyakit
	<i>Tick-borne encephalitis</i>
	<i>Tularaemia</i>
<i>Triatomine bugs</i>	<i>Chagas disease (American trypanosomiasis)</i>
Lalat tsetse	<i>Sleeping sickness (African trypanosomiasis)</i>
<i>Fleas</i>	<i>Plague</i> (ditularkan oleh kutu dari tikus ke manusia)
	<i>Rickettsiosis</i>
<i>Black flies</i>	<i>Onchocerciasis (river blindness)</i>
<i>Aquatic snails</i>	<i>Schistosomiasis (bilharziasis)</i>

Sumber: WHO (2020a)

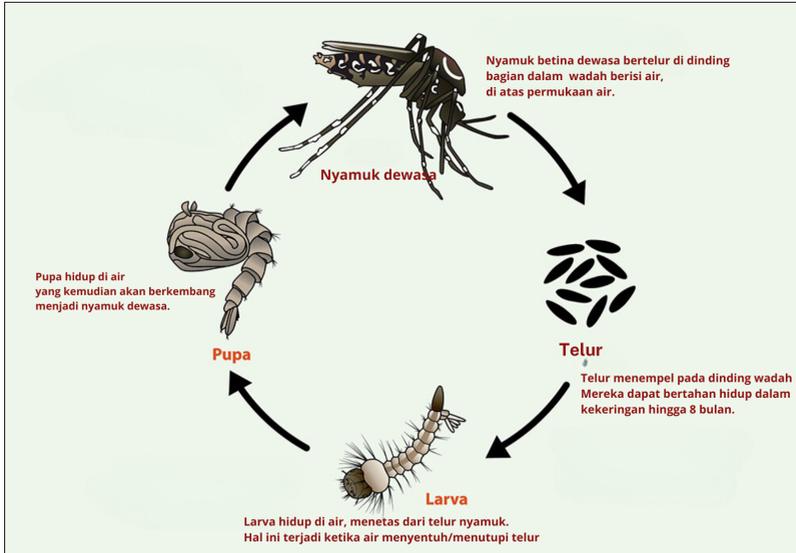
Penjelasan beberapa contoh vektor secara singkat sebagai berikut.

1. Vektor Nyamuk

Nyamuk merupakan vektor penyakit malaria, filariasis, dengue, *yellow fever*, *west nile fever*, *japanese encephalitis*, dan cikungunya. Nyamuk jantan akan hidup rata-rata hanya 6–7 hari, makanan utamanya adalah nektar tumbuhan, dan tidak memakan darah. Betina dengan suplai makanan yang cukup dapat hidup hingga lima bulan atau lebih lama, dengan rata-rata rentang hidup betina sekitar enam minggu. Nyamuk memiliki proses daur hidup (metamorfosis) yang sempurna, yang terbagi ke dalam empat tahap, yaitu telur, larva, pupa, dan nyamuk dewasa. Seluruh siklus hidup, dari telur hingga dewasa, memakan waktu sekitar 8–10 hari. Kepompong berkembang menjadi nyamuk terbang dewasa dalam 2–3 hari. Nyamuk betina bertelur di dalam wadah yang berisi air. Telur siap menetas dari beberapa hari hingga beberapa bulan setelah diletakkan. Siklus tersebut tergambar pada Gambar 1.1.

a. *Anopheles* sp.

Nyamuk *Anopheles* sp. merupakan vektor penyakit malaria. Gigitan nyamuk *Anopheles* betina yang terinfeksi *Plasmodium* dapat menularkan penyakit ini. Nyamuk *Anopheles* beraktivitas pada malam



Sumber: Modifikasi dari Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2024a)

Gambar 1.1 Siklus Hidup Nyamuk

hari sampai dini hari. Beberapa spesies nyamuk ini juga bersifat *exophilic* (lebih suka di luar rumah) dan dapat menggigit orang yang beraktivitas di luar rumah. Larva *Anopheles* juga lebih suka berkembang biak di habitat berukuran kecil, sementara peningkatan tutupan vegetasi mengurangi kepadatan larva *Anopheles*. Jenis habitat yang umum adalah kolam buatan, kolam alami, parit drainase, dan rawa-rawa.

b. *Aedes* sp.

Dua spesies penting dari genus *Aedes* adalah *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus*, karena kedua spesies ini merupakan vektor dari penyakit DBD dan *yellow fever*, serta beberapa penyakit lain, seperti cikungunya dan *zika*. *Aedes aegypti* bersifat *anthropophilic* sehingga senang hidup berdekatan dengan manusia. Habitatnya juga kebanyakan di kontainer buatan, seperti bak mandi, ember, dan pot bunga. Sementara itu,

tempat perindukan nyamuk *Aedes albopictus* lebih sering ditemukan pada tempat berkembang biak alami, seperti lubang pohon, tangkai tanaman, dan bagian yang dibuang dari buah tropis seperti sekam kelapa. Waktu nyamuk *Aedes aegypti* aktif menggigit adalah pada pagi hingga sore hari. Selain itu, waktu paling aktif nyamuk *Aedes aegypti* untuk mencari darah adalah dua jam setelah matahari terbit dan beberapa jam sebelum matahari terbenam. *Aedes aegypti* merupakan masalah utama di daerah perkotaan, di mana terdapat banyak tempat berkembang biak yang cocok, terutama di daerah yang persediaan airnya disimpan dalam wadah tanpa tutup dan lama tidak dikuras. Spesies nyamuk ini beraktivitas menggigit pada siang hari sehingga pengendalian yang dapat dilakukan lebih pada pengurangan kontainer tempat perindukan nyamuk.

c. *Culex* sp.

Spesies nyamuk *Culex* sp. mempunyai karakteristik nokturnal atau memiliki kebiasaan menggigit manusia terutama pada malam hari. Pukul 01.00–02.00 merupakan puncak dari aktivitas menggigit nyamuk ini. Nyamuk ini merupakan vektor penyakit kaki gajah/filariasis, tapi kebanyakan spesies ini lebih berupa hama gangguan daripada vektor. Nyamuk ini dapat bertelur di hampir semua badan air tawar, termasuk genangan air yang tercemar. Siklus hidup nyamuk ini biasanya 10–14 hari dan mungkin lebih lama dalam cuaca dingin. Mereka biasanya beristirahat di luar rumah, tapi beberapa akan memasuki rumah, dan cenderung beristirahat di atas tirai dan perabotan daripada di permukaan dinding. Oleh karena itu, penggunaan *indoor residual spraying* (IRS) tidak disarankan untuk diterapkan. *Cx. Quinquefasciatus* dapat berkembang biak dalam air di jamban, saluran pembuangan, dan *septic tank*. Saluran air perlu dibiarkan tidak diblokir/dihalangi untuk menjaga aliran air sehingga air bebas masuk. *Cx. Quinquefasciatus* berkembang biak terutama di lubang/saluran air sehingga pemakaian lapisan polistirena dapat sangat membantu dalam upaya pengendalian penyakit filariasis limfatik bersamaan dengan program pemberian obat massal.

2. Vektor Lalat

a. Lalat Tsetse (*Glossina* spp.)

Beberapa spesies lalat tsetse merupakan vektor tripanosomiasis pada manusia dan hewan di Afrika. Penyakit tidur adalah infeksi kronis yang disebabkan oleh *Trypanosoma brucei gambiense* di Afrika Barat dan Tengah serta *Trypanosoma brucei rhodesiense* di Afrika Timur dan Selatan (Makumi et al., 2000).

b. Sand Fly (*Phlebotominae*)

Hanya dua genus/kelompok dari lalat pasir yang berperan sebagai vektor penyakit *leishmaniasis*, yaitu *Phlebotomus* dan *Lutzomyia*. Lalat pasir *Phlebotomus* berukuran sangat kecil, jarang melebihi 3 mm, dan sebagian besar beraktivitas pada malam hari meskipun beberapa spesies akan menggigit pada siang hari. Mereka beristirahat di area rumah yang sejuk dan lembab, termasuk kamar mandi dan juga sarang hewan, serta di habitat alami, seperti gua, dinding, sarang burung, dan liang, di mana mereka berhubungan dengan hewan pengerat dan mamalia lainnya. Sebagian besar spesies bersifat eksofilik, sebagian lainnya bersifat endofilik dan akan menggigit di dalam ruangan. *Leishmaniasis* kasusnya meningkat secara signifikan di daerah dengan deforestasi, bendungan baru, urbanisasi, dan migrasi orang-orang yang tidak memiliki kekebalan ke daerah endemik. Penyakit ini banyak terutama di lembah Amazon, daerah tropis di negara-negara Andes, Maroko, dan Arab Saudi (Abbasi et al., 2018).

c. *Musca Domestica* dan *Synanthropic* Sp. Lainnya

Lalat rumah (*Musca domestica*) merupakan spesies yang paling umum di seluruh dunia bersama dengan spesies lalat lainnya, seperti *Stomoxys* sp., *Calliphora* sp., *Lucilia* sp., dan *Sarcophaga* sp.. Spesies-spesies ini sangat sering menjadi penyebab dalam penyebaran penyakit seperti *Shigellosis* dan penyakit diare lainnya. Di Afrika, penyakit *trachoma* yang disebabkan oleh *Chlamydia trachomatis* disebarkan oleh lalat bazaar (*Musca sorbens*), yang tertarik pada mata manusia (Khamesipour et al., 2018).

3. Vektor Lainnya

Beberapa spesies hama/serangga kecil, seperti *Triatoma*, *Panstrongylus*, dan *Rhodnius* merupakan vektor *Trypanosoma cruzi*, yang menyebabkan penyakit *chagas* di Amerika Tengah dan Selatan. Vektor yang paling sering ditemukan di sebagian besar Amerika Selatan adalah *T. infestans*, sedangkan *R. prolixus* paling sering ditemukan di Amerika Tengah dan bagian utara Amerika Selatan. Beberapa contoh jenis vektor dan teknik pengendaliannya dapat dilihat pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Jenis Vektor dan Teknik Pengendaliannya

Vektor	Teknik Pengendalian
Nyamuk	
<i>Anopheles</i> sp.	<i>Indoor residual spraying</i> Pengasapan ruang <i>Barrier</i> Larvasida Kelambu berinsektisida
<i>Aedes aegypti</i>	Pengasapan
<i>Aedes albopictus</i>	Larvasida
<i>Aedes simpsoni</i>	Pengasapan
<i>Aedes</i> spp. lain dan <i>Psorophora</i> spp.	Pengasapan/ <i>fogging</i>
<i>Culex</i> spp.	pemberantasan sarang/ perindukan
<i>Mansonia</i> spp.	<i>Indoor residual spraying</i>
Lalat <i>Musca</i> spp., <i>Stomoxys</i> spp., <i>Calliphora</i> spp.	<i>Residual sprays</i> <i>Space treatment</i> Perangkap
<i>Glossina</i> spp.	Perangkap <i>Space treatment</i> <i>Screens</i>
<i>Simulium damnosum</i>	Larvasida
<i>Phlebotomus</i> spp.	Kelambu <i>Indoor residual spraying</i>
Triatomine bugs	
<i>Triatoma</i> , <i>Panstrongylus</i> dan <i>Rhodnius</i> spp.	<i>Indoor residual spraying</i>
Bedbugs	

Vektor	Teknik Pengendalian
<i>Cimex</i> spp.	<i>Residual sprays</i> Kelambu
<i>Fleas</i>	<i>Residual sprays</i>
<i>Xenopsylla</i> spp. dan <i>Pulex</i> spp.	
<i>Ticks</i>	
<i>Ixodes</i> spp.	
<i>Rhipicephalus</i> sp.	<i>Residual sprays</i>

Sumber: Marquardt (2004)



Bab
2

RUANG LINGKUP PENGENDALIAN VEKTOR

A. PENGERTIAN PENGENDALIAN VEKTOR

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia (Permenkes RI) Nomor 374/MENKES/PER/III/2010 Tahun 2010 tentang Pengendalian Vektor, pengendalian vektor merupakan kegiatan atau tindakan yang ditujukan untuk menurunkan populasi vektor serendah mungkin sehingga keberadaannya tidak lagi berisiko untuk terjadinya penularan penyakit di suatu wilayah atau menghindari kontak masyarakat dengan vektor sehingga penularan penyakit yang dibawa oleh vektor dapat dicegah. Pada intinya, pengendalian vektor merupakan suatu kegiatan untuk menurunkan kepadatan populasi vektor pada tingkat yang tidak lagi membahayakan bagi kesehatan manusia. Hal ini disebabkan karena dalam menghilangkan seluruh vektor di suatu daerah sering kali tidak memungkinkan. Oleh karena itu, dengan menurunkan kepadatan populasi vektornya, diharapkan dapat pula menurunkan kasusnya. Menurut World Health Organization (WHO), pengendalian vektor penyakit sangat diperlukan bagi beberapa macam penyakit karena beberapa alasan sebagai berikut.

- 1) Penyakit tersebut belum ada obat atau vaksinnnya (seperti hampir semua penyakit yang disebabkan oleh virus).
- 2) Bila sudah ada obat atau vaksinnnya, kerja obat atau vaksin tersebut belum efektif, terutama untuk penyakit parasiter.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

- 3) Penyakit tersebut, selain terjadi pada manusia, juga terjadi pada banyak hewan (sehingga sulit dikendalikan).
- 4) Sering menimbulkan akibat kecacatan (seperti filariasis dan malaria).
- 5) Penyakit cepat menular dan menyebar karena vektornya dapat bergerak cepat (seperti serangga yang bersayap).

B. SEJARAH PENGENDALIAN VEKTOR

Pada akhir abad ke-19, ditemukan bahwa beberapa spesies serangga, arthropoda lain, dan siput air tawar berperan pada penularan beberapa penyakit penting. Pengendalian penularan penyakit sering kali bergantung pada pengendalian vektor karena vaksin atau obat yang efektif tidak selalu tersedia. Pada awalnya, program pengendalian mencakup upaya yang dilakukan di rumah, seperti penggunaan kelambu, drainase, atau pengisian rawa dan badan air lainnya yang digunakan oleh serangga untuk berkembang biak (Raghavendra et al., 2011).

Penemuan insektisida diklorodifeniltrikloroetana (*dichlorodiphenyltrichloroethane*, DDT) pada tahun 1940-an merupakan terobosan besar dalam pengendalian penyakit yang ditularkan vektor. Insektisida ini sangat efektif untuk membunuh nyamuk dalam ruangan saat disemprot di dinding rumah. Selain itu, harga produksi DDT murah dan tetap aktif dalam periode berbulan-bulan. DDT juga tampak efektif dan ekonomis dalam mengendalikan lalat, hama, dan infestasi lainnya, seperti kutu, kutu busuk, dan serangga *Triatomine*. Pada tahun 1950 dan awal 1960-an, program penerapan DDT pada skala besar dilaksanakan di banyak negara yang berusaha mengendalikan atau membasmi penyakit, seperti malaria, penyakit *chagas*, dan *leishmaniasis* (Jarman & Ballschmiter, 2012).). Program ini umumnya dilaksanakan untuk periode waktu yang terbatas karena penerapan dalam skala besar memerlukan biaya yang besar. Tujuannya adalah untuk memberantas penyakit atau mengurangi penularan sampai tingkat serendah mungkin.

Awalnya, program ini sebagian besar terbukti berhasil dalam mengurangi aktivitas vektor. Namun, di banyak negara, keberhasilan tersebut tidak bertahan lama. Sering kali vektor kemudian menjadi resisten terhadap pestisida yang digunakan sehingga membutuhkan bahan kimia baru yang lebih mahal. Penundaan atau tidak adanya program pengendalian vektor menyebabkan terjadinya penularan penyakit. Keberhasilan pengendalian vektor jangka panjang sebagian besar terjadi saat diikuti dengan upaya perubahan lingkungan sehingga vektor tersebut dapat dicegah untuk berkembang biak atau beristirahat (van den Berg, 2009)

Menjelang akhir 1960-an, penyakit-penyakit tersebut—kecuali malaria di Afrika—tidak lagi dianggap penting bagi kesehatan masyarakat. Hal ini memicu kemunduran besar. Program pengendalian vektor berakhir, sumber daya berkurang, dan ahli dalam pengendalian vektor juga berjumlah sedikit di unit kesehatan masyarakat. Dalam dua dekade terakhir, banyak penyakit tular vektor telah muncul kembali atau menyebar ke bagian dunia yang baru dan dianggap sebagai masalah bagi negara-negara di wilayah tropis. Penyakit yang ditularkan melalui vektor menimbulkan ancaman yang makin luas terhadap kesehatan masyarakat global, baik dari segi jumlah orang yang terkena dampak maupun penyebaran geografisnya

Vektor berpotensi menyebar secara global karena adanya perubahan iklim, ekologi, pola penggunaan lahan, dan pergerakan orang dan barang yang cepat serta meningkat. Hal ini mengancam lebih dari setengah populasi dunia. Perubahan lingkungan menyebabkan peningkatan jumlah dan penyebaran banyak vektor di seluruh dunia. Demam berdarah, khususnya muncul sebagai masalah kesehatan masyarakat yang serius. Tahun 2012, penyakit demam berdarah dengue (DBD) merupakan penyakit virus yang ditularkan nyamuk dengan potensi epidemi di dunia. Telah terjadi peningkatan kasus sebanyak 30 kali selama 50 tahun terakhir, serta biaya kemanusiaan dan ekonominya sangat mengejutkan.

Vektor utama demam berdarah, yakni nyamuk *Aedes aegypti*, sekarang ditemukan di lebih dari 20 negara di Eropa. Spesies nyamuk ini juga menularkan penyakit cikungunya di Kepulauan Karibia, yang merupakan kasus pertama yang terjadi di wilayah Amerika. Selain penyebaran vektor yang mengkhawatirkan, hal yang membutuhkan perhatian serius adalah meningkatnya ketahanan insektisida (resistensi). Saat ini, sebagian besar spesies vektor menunjukkan resistensi terhadap banyak kelas insektisida. Adanya resistensi insektisida mengakibatkan tidak efektifnya pengendalian vektor dan meningkatkan risiko penularan penyakit.

C. TUJUAN DAN MANFAAT PENGENDALIAN VEKTOR

Tujuan upaya pengendalian vektor adalah mencegah atau membatasi terjadinya penularan penyakit tular vektor di suatu wilayah sehingga penyakit tersebut dapat dicegah dan dikendalikan. Tujuan pengendalian vektor secara khusus adalah sebagai berikut:

- 1) menurunkan populasi vektor serendah mungkin secara cepat sehingga keberadaannya tidak lagi berisiko untuk terjadinya penularan penyakit tular vektor di suatu wilayah;
- 2) menghindari kontak dengan vektor sehingga penularan penyakit tular vektor dapat dicegah; dan
- 3) meminimalkan gangguan yang disebabkan oleh binatang atau serangga pengganggu.

Pengendalian vektor penyakit menjadi prioritas dalam upaya pengendalian penyakit karena potensi vektor menularkan penyakit sangat besar, seperti lalat, nyamuk, tikus, dan serangga lainnya. Kegiatan pengendalian vektor dapat berupa penyemprotan, pengendalian biologis, pemusnahan sarang nyamuk, dan modifikasi/manipulasi lingkungan. Keberadaan lalat dan serangga-serangga pengganggu lain merupakan vektor mekanik dari berbagai penyakit tertentu dan di sisi lain, keberadaan serangga tersebut mengganggu bagi sebagian orang. Pengendalian dilakukan secepatnya setelah kegiatan survei

vektor dilakukan, dengan berbagai cara termasuk menggunakan insektisida.

D. TANTANGAN DAN HAMBATAN PENGENDALIAN VEKTOR

Berikut masalah yang dihadapi dalam pengendalian vektor di Indonesia:

- 1) kondisi geografi dan demografi;
- 2) adanya keragaman vektor yang ada di Indonesia;
- 3) belum teridentifikasinya spesies vektor (pemetaan sebaran vektor) di semua wilayah endemis;
- 4) belum lengkapnya peraturan penggunaan pestisida dalam pengendalian vektor peningkatan populasi resisten beberapa vektor terhadap pestisida tertentu;
- 5) keterbatasan sumber daya baik tenaga, logistik, maupun biaya operasional; serta
- 6) kurangnya keterpaduan dalam pengendalian vektor.

E. PRINSIP PENGENDALIAN VEKTOR

Prinsip pengendalian vektor merupakan usaha mengurangi dan menurunkan populasi vektor ke tingkat yang tidak membahayakan kehidupan manusia karena tidak mungkin meniadakan sama sekali vektor. Adapun prinsip dasar dalam pengendalian vektor yang dapat dijadikan sebagai pegangan adalah sebagai berikut.

- 1) Pengendalian vektor harus dilakukan dengan menerapkan berbagai macam cara pengendalian agar vektor tetap berada di bawah garis batas yang tidak merugikan kesehatan atau membahayakan. Contohnya dalam pencegahan DBD, target angka bebas jentik (ABJ) di masyarakat minimal 95%. Artinya, dengan menurunkan angka kepadatan nyamuk sampai dengan 95%, hunian bebas dari larva nyamuk dapat menurunkan risiko penularan penyakit DBD.

- 2) Pengendalian vektor tidak menimbulkan kerusakan atau gangguan ekologis terhadap tata lingkungan hidup.

Metode pengendalian vektor tertentu yang diterapkan di masyarakat bergantung pada situasi lokal dan kecenderungan masyarakat. Penting bagi masyarakat mendapat informasi yang baik mengenai pilihan yang ada. Masyarakat dapat berpartisipasi secara aktif dalam memilih dan menerapkan kegiatan pengendalian vektor yang sesuai dengan keadaan mereka. Metode pengendalian vektor yang sesuai untuk melibatkan masyarakat harus dilakukan sebagai berikut:

- 1) efektif;
- 2) terjangkau;
- 3) menggunakan peralatan dan bahan yang bisa didapat secara lokal;
- 4) mudah dipahami dan diterapkan;
- 5) dapat diterima dan sesuai dengan kebiasaan, sikap, dan kepercayaan setempat; dan
- 6) aman bagi pengguna dan lingkungan.

Metode yang sesuai di satu tempat tidak selalu sesuai juga di tempat lain walaupun karakteristik penyakit dan vektornya tidak berubah. Penyemprotan insektisida pada dinding (*indoor residual spraying*, IRS) mungkin merupakan metode yang lebih disukai untuk mengendalikan malaria di satu daerah. Sementara itu, penggunaan kelambu yang diberi insektisida atau pengelolaan lingkungan lebih sesuai di tempat lain. Perbedaan penerapan berbagai metode tersebut terkait dengan jenis dan jumlah keterlibatan yang dibutuhkan dari anggota masyarakat, petugas kesehatan desa dan kabupaten, serta ahli pengendalian vektor. Pilihan metode ini sering kali bergantung pada ketersediaan dana dan tenaga terlatih, tingkat perkembangan ekonomi dan sosial masyarakat atau daerah, serta tingkat perkembangan pelayanan kesehatan setempat.

Langkah-langkah pengendalian vektor yang harus dilakukan, yaitu

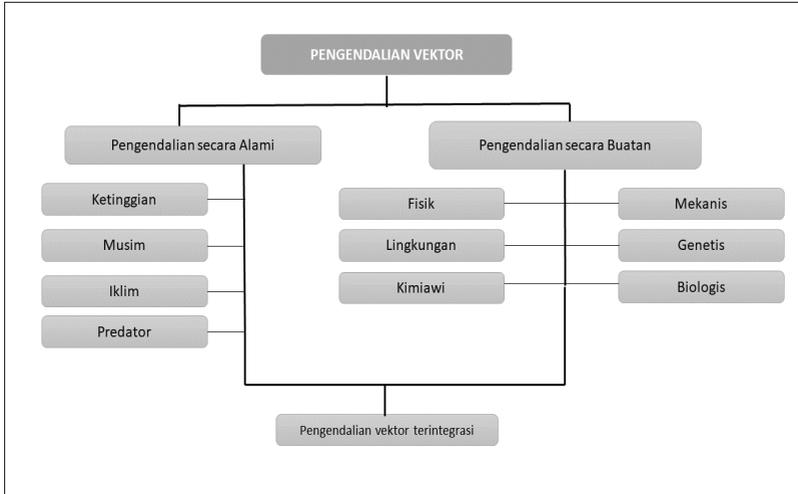
- 1) mengetahui identitas vektor;
- 2) mengetahui sifat dan cara hidup vektor;
- 3) memilih alternatif cara pengendalian; dan
- 4) memilih pestisida/insektisida.

Kemudian, penentuan cara aplikasi, seperti di mana dilakukan, kapan waktunya, dengan cara apa, formulasi yang tepat, serta siapa yang akan melakukan.

F. JENIS METODE PENGENDALIAN VEKTOR

Metode pengendalian vektor ada beberapa jenis, baik yang secara alami maupun secara buatan. Pengendalian vektor secara alami lebih pada kondisi lingkungan, seperti ketinggian tempat, musim, iklim, dan adanya predator yang membuat vektor tidak dapat berkembang biak secara kondusif di daerah tersebut. Sementara itu, pengendalian vektor secara buatan merupakan upaya-upaya manusia yang dilakukan untuk dapat menurunkan populasi vektor dengan harapan mampu meminimalisir penularan penyakit tular vektor. Gambar 2.1 merupakan bagan beberapa jenis metode pengendalian vektor.

Gambar 2.1 menjelaskan beberapa metode pengendalian vektor yang terbagi menjadi dua, yakni pengendalian secara alami dan secara buatan. Pengendalian secara alami misalnya karena letak/ketinggian tempat, musim, iklim dan adanya predator. Ketinggian tempat membatasi distribusi vektor nyamuk karena temperatur di tempat yang tinggi relatif lebih dingin sehingga tidak kondusif untuk perkembangbiakan nyamuk. Perubahan iklim yang terjadi sekarang ini dapat mengubah distribusi populasi nyamuk karena dimungkinkan ada beberapa daerah dataran tinggi yang suhunya makin hangat sehingga nyamuk dapat berkembang biak dengan baik. Pengendalian secara buatan dilakukan misalnya dengan metode secara fisik, lingkungan, kimiawi, dan genetis. Pengendalian kimiawi dengan pemakaian insektisida masih banyak dijadikan program unggulan untuk pengendalian vektor.



Sumber: Khairiyati et al. (2021)

Gambar 2.1 Metode Pengendalian Vektor



Bab 3

METODE PENGENDALIAN VEKTOR SECARA MEKANIS, FISIK, DAN LINGKUNGAN

A. PENGENDALIAN VEKTOR SECARA MEKANIS

Pengendalian vektor secara mekanis dilakukan dengan menggunakan alat yang langsung dapat membunuh, menangkap atau menghalau, menyisir, atau mengeluarkan serangga dari jaringan tubuh. Metode ini misalnya dengan menggunakan baju pelindung serta memasang kawat kasa di jendela. Beberapa contoh pengendalian mekanik yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) pemasangan perangkap tikus atau perangkap serangga;
- 2) pemasangan jaring (kasa, kawat, kelambu);
- 3) pembunuhan vektor dan binatang pengganggu dengan alat pembunuh (pemukul dan jepretan dengan umpan);
- 4) pengasapan menggunakan belerang untuk mengeluarkan tikus dari sarangnya sekaligus peracunan;
- 5) pembalikan tanah sebelum ditanami; dan
- 6) penggunaan raket listrik.

Contoh pengendalian mekanis dengan penggunaan raket listrik dan pemasangan kasa rumah ditunjukkan pada Gambar 3.1



Penggunaan raket listrik

Pemasangan kasa di rumah

Sumber: Muare (2022)

Gambar 3.1 Contoh Pengendalian secara Mekanis

B. PENGENDALIAN VEKTOR SECARA FISIK

Pengendalian fisik merupakan pengendalian yang dilakukan dengan menggunakan alat fisika untuk pemanasan, pembekuan, serta penggunaan alat listrik untuk pengaduan angin dan penyinaran cahaya yang dapat membunuh atau mengganggu kehidupan serangga. Beberapa contoh pengendalian vektor secara fisik, yaitu pengkondisian suhu 60°C dan suhu beku yang akan membunuh serangga (suhu dingin menyebabkan serangga tidak dapat melakukan aktivitasnya), pemasangan lampu kuning yang dapat menghalau nyamuk, adanya hembusan angin keras pada pintu masuk swalayan dan restoran. Beberapa metode pengendalian secara fisik adalah sebagai berikut:

- 1) pemanfaatan sinar/cahaya untuk menarik atau menolak serangga;
- 2) pemanfaatan kondisi panas dan dingin untuk membunuh vektor dan binatang pengganggu;
- 3) pemanfaatan kondisi musim/iklim untuk memberantas jentik nyamuk;
- 4) pemanfaatan suara untuk menarik atau menolak vektor dan binatang pengganggu; serta

- 5) pemanfaatan arus listrik dengan umpan atau atraktan untuk membunuh vektor dan binatang pengganggu (perangkap serangga dengan listrik daya penarik menggunakan lampu neon).

Kelebihan pengendalian vektor secara mekanis dan fisik adalah tidak menimbulkan pencemaran pada lingkungan dan dapat dikombinasikan dengan cara pengendalian vektor yang lain.

C. METODE PENGENDALIAN DENGAN PENGELOLAAN LINGKUNGAN

Metode pengendalian vektor dengan pengelolaan lingkungan dilakukan dengan memanipulasi ataupun menghancurkan habitatnya. Pengelolaan lingkungan untuk pengendalian vektor mengacu pada perencanaan, pengorganisasian, pelaksanaan, dan pemantauan kegiatan untuk modifikasi dan/atau manipulasi faktor-faktor lingkungan, dengan tujuan mencegah atau meminimalkan perkembangbiakan vektor serta mengurangi kontak manusia-vektor-agen penyakit. Ketika langkah-langkah tersebut menghasilkan perubahan tanah, air, atau vegetasi yang tahan lama atau permanen, hal ini sering disebut sebagai modifikasi lingkungan. Ketika langkah-langkah tersebut memiliki efek sementara dan perlu diulang, hal ini disebut sebagai manipulasi lingkungan.

Pengelolaan lingkungan dapat mencakup penghancuran tempat perkembangbiakan dengan mengalirkan, mengisi, menghilangkan, atau menyalurkan aliran dan sungai ke kanal atau dengan mengubah karakteristik vegetasi dan naungan dari tempat yang disukai oleh vektor. Jenis metode ini terutama berlaku untuk pengendalian nyamuk. Beberapa nyamuk mempunyai kecenderungan habitat yang berbeda-beda. Sebagai contoh, beberapa nyamuk menyukai tempat perindukan yang sementara, dan yang lainnya menyukai perairan permanen untuk tempat perindukannya. Beberapa nyamuk ditemukan di air dengan tingkat organik tinggi, dan yang lainnya membutuhkannya pada tingkat yang rendah. Beberapa membutuhkan salinitas, sedangkan salinitas malah justru fatal bagi yang lain. Berdasarkan hal tersebut

maka perubahan kualitas air di tempat berkembang biak nyamuk memiliki efek signifikan pada distribusi spesies nyamuk (Ault, 1994).

Tujuan pengelolaan lingkungan untuk pengendalian vektor adalah untuk mengurangi kepadatan populasi spesies sasaran di bawah tingkat ambang transmisi penyakit. Setiap spesies memiliki distribusi geografis tertentu dan dapat muncul dalam jumlah besar jika tempat berkembang biaknya, baik kondisi fisik, kimia, maupun biologis, dalam keadaan yang optimal. Oleh karena itu, langkah-langkah pengelolaan lingkungan hidup bergantung pada pemahaman menyeluruh tentang ekologi vektor dan dinamika populasi serta pemahaman tentang epidemiologi penyakit yang dibawa oleh vektor.

Manajemen lingkungan berusaha mengubah lingkungan untuk mencegah atau meminimalkan perkembangbiakan vektor dan mengurangi kontak manusia dengan vektor-patogen. Manajemen lingkungan menghancurkan, mengubah, mengeluarkan, atau mendaur ulang wadah-wadah tidak penting yang berpotensi sebagai habitat telur/ larva/pupa. Tindakan tersebut menjadi andalan pengendalian vektor demam berdarah. Berikut dua jenis pengelolaan lingkungan.

1) Modifikasi lingkungan

Modifikasi lingkungan berupa upaya perubahan fisik jangka panjang untuk mengurangi habitat larva dari vektor. Sebagai contoh, dilakukan pemasangan pasokan air pipa yang baik ke masyarakat. Contoh lain, seperti drainase, pengisian, dan perataan tanah. Meskipun kegiatan modifikasi ini biasanya bersifat permanen, pelaksanaan yang tepat dan perawatan yang memadai sangat penting agar berfungsi secara efektif.

2) Manipulasi lingkungan

Manipulasi lingkungan merupakan perubahan sementara habitat vektor yang melibatkan pengelolaan kontainer penting, seperti pengosongan dan pembersihan yang sering dilakukan dengan menggosok kontainer penyimpanan air, vas bunga, dan pendingin ruangan. Contoh lainnya, yaitu membersihkan selokan, melindungi ban bekas dari hujan, daur ulang, pembuangan

wadah dan ban bekas yang dibuang, serta pengelolaan tanaman dekat rumah yang mengumpulkan air di tangkai daun.

Beberapa contoh metode pengelolaan lingkungan, di antara nya sebagai berikut.

- 1) Perbaikan sistem penyediaan dan penyimpanan air
Memperbaiki tempat persediaan air merupakan metode utama untuk mengendalikan vektor *Aedes*, terutama *Aedes aegypti*. Air yang disalurkan ke rumah tangga (pipa) lebih baik daripada air yang diambil dari sumur, air dari sumber bersama, dan sistem penyimpanan air lainnya karena menghilangkan kontainer yang kondusif untuk perkembangbiakan nyamuk. Air minum harus disediakan dengan baik sehingga wadah penyimpanan air yang berfungsi sebagai habitat larva, seperti gentong dan tempayan, tidak lagi diperlukan. Pemasangan pasokan air pipa yang baik ke rumah harus disertai dengan strategi komunikasi untuk membuat masyarakat berhenti menyimpan air secara tradisional.
- 2) Perancangan wadah penyimpanan air
Wadah penyimpanan air dapat dirancang agar mencegah nyamuk bertelur di permukaan air. Wadah dapat dipasang dengan tutup yang ketat. Penutup yang dapat dilepas harus diganti setiap kali air dilepaskan dan harus dirawat dengan baik untuk mencegah kerusakan yang memungkinkan nyamuk masuk dan keluar.
- 3) Pengelolaan limbah padat
Manfaat dari mengurangi jumlah sampah di lingkungan perkotaan sangat signifikan dalam pengendalian vektor. Menerapkan banyak prinsip dasar dapat berkontribusi secara substansial untuk mengurangi habitat larva *Aedes aegypti*. Penyimpanan, pengumpulan, dan pembuangan limbah yang tepat sangat penting untuk melindungi kesehatan masyarakat. Aturan dasar *reduce, reuse, dan recycle* sangat penting dilakukan. Upaya untuk mengurangi limbah padat harus ditunjukkan

terhadap wadah yang dibuang atau tidak penting, terutama jika limbah padat tersebut telah diidentifikasi di masyarakat sebagai wadah yang dapat berpotensi untuk perindukan nyamuk. Sampah padat harus dikumpulkan dalam kantong plastik dan dibuang secara teratur. Frekuensi pengumpulan merupakan hal penting. Waktu dua kali per minggu direkomendasikan untuk mengendalikan lalat dan hewan pengerat di daerah beriklim hangat. Pengendalian secara integrasi (pengendalian *Aedes aegypti* dengan pengelolaan limbah) dimungkinkan dan harus didorong agar menampakkan hasil yang memadai.

- 4) Pembersihan jalan dan saluran air
Sistem pembersihan jalan dan saluran pembuangan untuk memastikan tidak menjadi genangan merupakan hal penting agar tidak menjadi tempat perkembangbiakan nyamuk. Hal ini akan membantu mengurangi habitat larva *Aedes aegypti* dan menghilangkan hama/serangga lainnya.
- 5) Struktur bangunan
Selama perencanaan serta pembangunan gedung dan infrastruktur lainnya, termasuk skema pembaharuan perkotaan, dan melalui peraturan perundang-undangan, ada peluang untuk memodifikasi atau mengurangi habitat larva vektor penyakit perkotaan, termasuk *Aedes aegypti*, *Culex quinquefasciatus*, dan *Anopheles stephensi*. Sebagai contoh, pemilik properti diharuskan untuk meniadakan talang yang ada di rumah mereka jika mereka tidak dapat merawatnya dengan baik.

Namun, metode ini mempunyai kelebihan dan kekurangan. Kelebihan pengendalian vektor dengan pengelolaan lingkungan, adalah sebagai berikut.

- 1) Berkesinambungan dan ramah lingkungan
Metode pengelolaan lingkungan biasanya bersifat berkelanjutan dan tidak bergantung pada bahan kimia beracun/insektisida. Hal ini membuat metode ini lebih ramah lingkungan dibandingkan metode pengendalian vektor kimia.

- 2) Biaya rendah
Pengelolaan lingkungan sering kali lebih ekonomis dalam jangka panjang daripada metode pengendalian kimia karena tidak memerlukan pembelian bahan kimia dan peralatan khusus.
- 3) Pencegahan lebih baik
Pendekatan ini fokus pada pencegahan adanya habitat vektor sehingga dapat mengurangi risiko penularan penyakit.
- 4) Pengurangan resistensi vektor
Penggunaan terlalu banyak pestisida/insektisida kimia dapat menyebabkan resistensi vektor. Metode pengelolaan lingkungan tidak berkontribusi pada perkembangan resistensi vektor.
- 5) Tidak menimbulkan bahaya bagi manusia dan hewan
Metode ini umumnya aman bagi manusia dan hewan karena tidak menggunakan insektisida beracun.

Sementara itu, kekurangan dari pengendalian vektor dengan pengelolaan lingkungan adalah sebagai berikut.

- 1) Proses yang lambat
Metode pengelolaan lingkungan sering memerlukan waktu lebih lama untuk memberikan hasil yang signifikan dibandingkan metode kimia yang dapat langsung membunuh vektor. Prosesnya memang relatif lebih lambat, tetapi efeknya jangka panjang.
- 2) Diperlukan pengetahuan dan upaya berkelanjutan
Pengelolaan lingkungan memerlukan pemahaman yang baik tentang siklus hidup vektor dan lingkungan tempat mereka berkembang biak. Hal ini memerlukan upaya yang berkelanjutan untuk pemantauan dan perbaikan.
- 3) Tidak selalu efektif
Pengelolaan lingkungan mungkin tidak selalu efektif mengendalikan vektor di lingkungan di mana vektor sangat cocok untuk berkembang biak. Beberapa vektor bisa sangat adaptif terhadap perubahan lingkungan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Bab 4

METODE PENGENDALIAN VEKTOR SECARA BIOLOGIS

A. PRINSIP PENGENDALIAN VEKTOR SECARA BIOLOGIS

Pengendalian vektor secara biologis prinsipnya menggunakan organisme pemangsa yang dapat memangsa atau memakan vektor sasaran sehingga dapat mengurangi populasi vektor dan menurunkan potensi penularan penyakit. Dengan cara pengendalian ini, vektor yang dikendalikan dapat berkurang dan tergolong ramah lingkungan dibandingkan penggunaan insektisida kimiawi. Sebagai contoh, untuk mengontrol nyamuk *Aedes*, terdapat pilihan spesies ikan larva dan kopepoda/*copepod predator* (krustasea air tawar kecil) yang efektif terhadap tahap larva nyamuk vektor. Biasanya organisme pengendalian biologis dibiakkan dan didistribusikan ke wadah penyimpanan air atau sumur (Thomas, 2018).

B. CONTOH PENGENDALIAN VEKTOR SECARA BIOLOGIS

Beberapa contoh pengendalian vektor secara biologis, yakni penerapan ikan pemangsa larva nyamuk dan kopepoda. Pemangsa alami nyamuk di antaranya ikan, amfibi, kopepoda, instar muda odonata, serangga air, dan bahkan larva nyamuk jenis lainnya. Kontrol biologis nyamuk

sebagian besar berfokus pada peran ikan pemakan larva. Predator ikan pemakan larva nyamuk telah diketahui di banyak tempat, termasuk di ekosistem alami yang lebih kompleks seperti lingkungan lahan basah pesisir.

Ikan pemakan larva telah terbukti sangat efektif untuk mengurangi populasi larva nyamuk di banyak belahan dunia dan di berbagai habitat. Ikan pemakan larva yang termasuk genus *Gambusia* dan *Poecilia* (Famili: Poeciliidae) telah diaplikasikan di lebih dari 60 negara untuk pengendalian nyamuk. Namun, penggunaan ikan larva juga dapat mengancam fauna perairan asli, termasuk amfibi, karena dapat bersaing dengan fauna asli untuk sumber daya, seperti makanan dan tempat berlindung. Saat ikan larva ini tumbuh menjadi dewasa, mereka dapat menggeser spesies asli dari habitat mereka atau menyebabkan penurunan populasi spesies asli karena persaingan yang lebih intens. Hal ini yang membuat penggunaan ikan pemakan larva juga harus diperhitungkan biaya ekologisnya. Tabel 4.1 menjelaskan beberapa contoh penerapan pengendalian vektor secara biologis.

Tabel 4.1 Contoh-Contoh Pengendalian Vektor secara Biologis

Organisme	Spesies	Target Spesies	Kelemahan
Ikan	Terutama <i>Gambusia affinis</i>	Non-spesifik	Dapat memakan non-target seperti spesies artropoda lain. Sistem ekologi dapat terganggu.
Larva Toxorhynchites	<i>Tx splendens</i> , <i>Tx brevipalpis</i> , <i>Tx moctezuma</i> , <i>Tx ambonensis</i> , <i>Tx Rutilis</i>	Terutama <i>Ae. aegypti</i>	Spesies silvatic dapat segera beradaptasi pada lingkungan manusia.
Kopepoda	Terutama spesies <i>Mesocyclops</i> dan <i>Macrocylops</i>	Terutama <i>Ae. aegypti</i>	Kebanyakan efektif hanya pada larva instar 1.

Sumber: Atkinson (2010)

Detail terkait contoh-contoh pengendalian vektor secara biologis dijelaskan sebagai berikut.

1. Ikan Pemangsa Larva

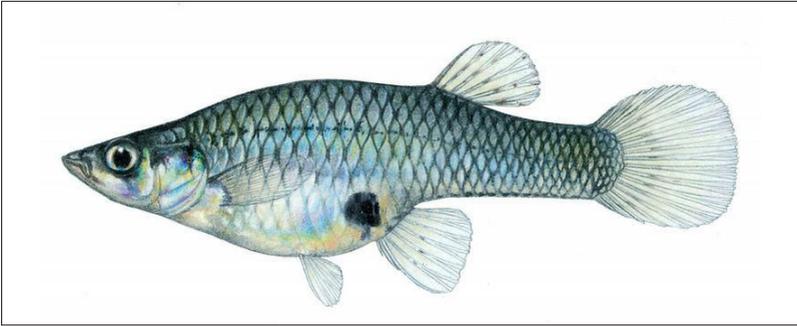
Spesies ikan pemangsa larva yang biasa digunakan untuk pengendalian vektor biasanya memiliki karakteristik sebagai berikut:

- 1) lebih memilih larva nyamuk dibandingkan jenis makanan lain yang berada di permukaan perairan;
- 2) ukurannya relatif kecil untuk mengakses perairan dangkal dan penetrasi ke vegetasi;
- 3) tingkat reproduksinya tinggi;
- 4) mempunyai toleransi terhadap polusi, salinitas, fluktuasi suhu, dan transportasi; dan
- 5) ikan tersebut sebaiknya berasal dari wilayah di mana tindakan pengendalian vektor dilakukan.

Beberapa spesies paling sukses yang telah dikenalkan ke berbagai negara adalah ikan nyamuk barat (*Gambusia affinis*) dan ikan gupi (*Poecilia reticulata*). *Gambusia* paling efisien pada air bersih, sementara ikan *Poecilia* dapat efektif digunakan pada air yang tercemar. Ikan *Poecilia* menolerir suhu yang lebih tinggi daripada *Gambusia* dan karenanya lebih efektif di sawah, di daerah yang panas. Namun, tidak seperti *Gambusia*, ikan *Poecilia* tidak bisa bertahan pada suhu di bawah 10°C. Penjelasan beberapa spesies yang biasanya digunakan untuk pengendalian vektor sebagai berikut.

a. *Gambusia affinis*

Gambusia affinis telah digunakan sebagai pengendali nyamuk di India sejak tahun 1928. Spesies ini terdistribusi ke berbagai negara dengan iklim yang hangat. Gambaran ikan *Gambusia affinis* terlihat pada Gambar 4.1.



Sumber: Elmer, N. L. (2019)

Gambar 4.1 Ikan *Gambusia affinis*

Spesies ikan ini sangat kuat dan bisa beradaptasi dengan variasi suhu serta bahan kimia dan kandungan organik air, tapi tidak dapat menolerir polusi organik yang sangat tinggi. Suhu optimum untuk reproduksi ikan ini berkisar antara 24°C–34°C, tetapi ikan ini dapat bertahan hidup di suhu yang beku. Ikan *Gambusia* paling sesuai hidup di air dengan pH berkisar antara antara 6,5 dan 9,9. Ikan ini hidup dan berkembang biak di kolam. Ukuran tubuh maksimal yang dicapai ikan jantan mencapai 4,5 cm, sedangkan ikan betina sekitar 5,2 cm–6,8 cm. Lama hidupnya mencapai sekitar 4 tahun. Beberapa karakteristik ikan ini dijelaskan sebagai berikut.

1) Perilaku bertelur

Ikan betina akan matang dalam waktu sekitar 3–6 bulan. Setiap ovarium mengandung kira-kira 120 butir telur. Ikan betina yang lebih muda memiliki dua gestasi per musim, sementara ikan betina yang lebih tua mungkin memiliki enam generasi per musim. Sekali musim berlangsung sekitar 30 hari. Seekor betina dapat menghasilkan antara 900 dan 1200 anakan di sepanjang umurnya.

2) Masa bertelur

Gambusia berkembang biak sepanjang tahun setelah matang, terutama pada kondisi tropis. Dalam iklim yang relatif dingin,

seperti yang ditemukan di India Utara dan Barat Laut, periode pembiakan berlangsung dari bulan Mei–September. Pada iklim yang lebih hangat, seperti di India Selatan, terjadi dari bulan April–November.

- 3) Efisiensi *Gambusia* sebagai ikan pemakan larva
Gambusia sebagai ikan pemakan larva memiliki karakter sebagai berikut.
 - a) Satu ikan dewasa dapat memakan sekitar 100–300 larva nyamuk per hari.
 - b) *Gambusia* adalah pemangsa permukaan. Oleh karena itu, sangat cocok untuk memangsa nyamuk Anophelines dan Culicines.
 - c) Ikan ini kecil dan bukan ikan konsumsi.
 - d) Ikan ini bisa menolerir salinitas.
 - e) Ikan ini bertahan dalam transportasi jarak jauh dan tidak memerlukan peralatan khusus atau kontainer.
 - f) Ikan ini dapat bertahan di tempat-tempat baru dan berkembang biak dengan mudah. Setelah dilepaskan ia mulai beradaptasi dan berkembang selama tahunan dan tidak membutuhkan perawatan khusus.

b. *Poecilia reticulata* (Gupi)

Ikan *Poecilia reticulata*—sering dikenal dengan nama ikan gupi—juga merupakan ikan eksotis yang dikenal di India pada tahun 1910. Ikan ini sangat mudah dirawat dan bereproduksi dengan cepat serta produktif. Ikan ini sekarang tersebar luas di India dan negara lain serta merupakan ikan pemakan larva yang penting (Gambar 4.2).

Ikan ini sangat kuat dan dapat bertahan di semua jenis perairan dan dapat menolerir tingkat polusi yang tinggi akibat bahan organik. Kisaran suhu yang cocok untuk pembiakan ikan ini adalah dari 24°C–34°C. Ikan gupi bisa bertahan di air dengan pH berkisar antara 6,5–9,0. Namun, ia tidak dapat bertahan dalam air dingin (di bawah 10°C) dan stoknya mungkin perlu ditambahkan jika suhu turun di bawah 10°C. Ukuran panjang ikan gupi jantan sekitar 3 cm, sedangkan



Sumber: Faheem (2019)

Gambar 4.2 Ikan *Poecilia reticulata*

betina panjangnya mencapai 6 cm. Umur hidup ikan gupi adalah selama 4–5 tahun (Shafique et al., 2019).

Ikan gupi membutuhkan waktu sekitar 90 hari untuk menjadi dewasa. Setiap ovarium ikan betina mengandung 100–160 butir telur. Ikan betina melahirkan sekitar 5–7 ikan anakan pada satu waktu. Sekitar 50–200 anakan dilepaskan oleh ikan betina setiap empat minggu. Ikan ini berkembang biak sepanjang tahun, sekitar 4 minggu setelah matang. Namun, musim berkembang biaknya juga tergantung dari kondisi iklim. Saat iklim lebih hangat, ikan gupi mungkin akan berkembang biak dari April–November (Warbanski et al., 2018). Ikan ini efektif sebagai pemangsa larva nyamuk karena mempunyai karakter sebagai berikut.

- 1) Ikan gupi dapat makan sekitar 80–100 larva dalam sehari. Namun, jika dibandingkan ikan *Gambusia affinis*, ikan ini lebih rendah efisiensinya.
- 2) Ikan gupi merupakan pemangsa di permukaan air.

- 3) Ikan gupi mempunyai toleransi bila dipindahkan ke tempat lain dan tidak mati dalam perjalanan.
- 4) Ikan gupi tidak membutuhkan peralatan khusus selama pemindahan.
- 5) Ikan gupi dapat bertahan hidup dan bereproduksi ketika dipindahkan ke perairan baru. Saat dikembangkan di suatu tempat, ia dapat bertahan di perairan tersebut hingga beberapa tahun.

Penelitian terbaru di Kamboja menyebutkan bahwa masyarakat menganggap perawatan, pemeliharaan, dan reproduksi ikan gupi cukup mudah. Hal ini dinilai sebagai faktor keberlanjutan utama untuk ikan gupi oleh anggota masyarakat di desa-desa tempat intervensi. Banyak anggota masyarakat juga menunjukkan kesediaan mereka untuk membeli ikan gupi setelah penelitian tersebut selesai. Mereka antusias bertanya tentang tempat-tempat yang memungkinkan untuk membeli ikan gupi untuk penggunaan berkelanjutan (Shafique et al., 2019)

Penerapan metode pengendalian vektor dengan ikan pemangsa larva ini mempunyai kelebihan dan kekurangannya, yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan Ikan Pemangsa Larva

Kelebihan
Pada kondisi lingkungan yang sesuai, ikan pemakan larva akan hidup dan berkembang biak sendiri dan berfungsi sebagai pengendalian biologis dengan sendirinya.
Biaya untuk mengaplikasikan ikan pemakan larva dan biaya perawatannya relatif murah dan tidak rumit. Tidak membutuhkan peralatan yang canggih.
Ikan tidak mengontaminasi air (relatif bersih) sehingga air masih tetap aman untuk diminum
Kekurangan
Ikan pemangsa larva ini hanya efektif ketika jumlahnya banyak dalam suatu lingkungan air. Nyamuk tetap dapat berkembang ketika ikan dalam jumlah yang rendah. Oleh karena itu, terkadang harus ditambahkan larvasida yang tidak berbahaya bagi ikan.

Kekurangan

Metode penggunaan ikan pemangsa larva ini baru menunjukkan hasilnya sekitar 1–2 bulan sehingga tidak cocok untuk metode pengendalian yang menuntut hasil segera.

Ikan pemakan larva akan tidak terlalu efektif ketika pada perairan terdapat banyak vegetasi dan sampah.

Ikan harus dibiakkan pada tempat tertentu, kemudian dipindahkan ke tempat sasaran. Hal ini membutuhkan perawatan khusus.

Sumber: Atkinson (2010)

2. *Toxorhynchites*

Toxorhynchites splendens adalah spesies nyamuk *non-hematophagous* (bukan pemakan darah) yang termasuk dalam genus *Toxorhynchites*. *Toxorhynchites*, juga disebut nyamuk gajah atau pemakan nyamuk, adalah genus nyamuk diurnal dan sering bertubuh warna-warni, ditemukan di seluruh dunia antara sekitar 35°LU dan 35°LS. Ikan ini termasuk spesies nyamuk terbesar yang diketahui, dengan panjang hingga 18 mm (0,71 inci) dan lebar sayapnya 24 mm (0,94 inci). Nyamuk ini salah satu di antara banyak jenis nyamuk yang tidak mengonsumsi darah. Nyamuk dewasa hidup dari bahan kaya karbohidrat, seperti melon, atau sari dan jus dari tanaman yang rusak, sampah, buah, dan madu, sementara larvanya memangsa larva nyamuk lain dan juga organisme nektonik (berenang bebas lainnya).

Sebagian besar spesies *Toxorhynchites* hidup di hutan, dengan satu spesies hutan, *Tx. splendens*, mengonsumsi larva nyamuk di celah-celah pohon (terutama yang termasuk genus *Aedes*). Nyamuk dewasa *Toxorhynchites* lebih besar dari *Aedes* dan dianggap tidak berbahaya bagi manusia karena mereka tidak memberi makan darah. Gambar nyamuk *Tx. splendens* dewasa ditunjukkan pada Gambar 4.3.

Nyamuk *Tx. splendens* banyak digunakan sebagai predator untuk mengendalikan nyamuk *Aedes* sp. Nyamuk ini merupakan nyamuk yang berkembang biak pada kontainer, baik kontainer buatan maupun alami. Pada tahun 1934, nyamuk ini diperkenalkan ke Fiji sebagai metode pengendalian biologis *Aedes polynesiensis* dan di India serta



Sumber: Chartier, G. (t.t.)

Gambar 4.3 Nyamuk Dewasa *Tx. splendens*

Malaysia untuk mengendalikan *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus* yang merupakan vektor utama dari banyak penyakit manusia. Nyamuk *Tx. splendens* lebih suka mengonsumsi telur dan larva *Aedes aegypti* dan *Anopheles stephensi* (Zurarah et al., 2015).

Perilaku larva *Toxorhynchites splendens* dalam memangsa larva *Aedes aegypti* dimulai dengan adanya gangguan di air, kemudian larva *Tx. splendens* segera mengarahkan mulutnya ke sumber stimulus atau mangsanya. Ketika mangsa sudah tertangkap, mangsa ditarik ke dasar kontainer selama 15–30 detik, kemudian mangsa dibawa ke permukaan air lagi. Setelah larva *Toxorhynchites splendens* memangsa dua atau tiga ekor mangsa, tubuhnya membentuk huruf S. Gerakan ini kemungkinan untuk menekan makanan yang telah tertelan menuju ke saluran pencernaan belakang. Setelah gerakan tersebut, larva *Toxorhynchites splendens* berelaksasi dan kembali ke posisi semula, membentuk sudut 15° dengan permukaan air (Golstein et al, 2019).

3. Kopepoda (*Copepoda*)

Sejumlah kopepoda omnivora (krustasea *cyclopid* air yang kecil) dapat memangsa larva nyamuk muda. Beberapa spesies kopepoda tersebut, antara lain, *Cyclops vernalis*, *Megacyclops formosanus*, *Mesocyclops (M.) aspericornis*, *M. edax*, *M. guangxiensis*, *M. longisetus*, dan *M. thermocyclopides*. Secara operasional, penggunaan predator kopepoda untuk pengendalian nyamuk di habitat perkotaan dan semiperkotaan tidak mahal dan hanya membutuhkan tenaga minimal untuk perawatan koloni. Penerapan penggunaan kopepoda terbesar dan paling berhasil untuk pengendalian nyamuk dilakukan di Vietnam untuk menargetkan vektor utama virus dengue (*dengue virus*, DENV), *Aedes aegypti*. Penggunaan kopepoda di sebuah desa di Vietnam Utara pada tahun 1993, mampu memberantas *Aedes aegypti* secara luas dan pada tahun 2000, tidak terdapat penyebaran penyakit demam berdarah dengue (DBD) di daerah tersebut. Biokontrol dengan kopepoda ini masih aktif dilakukan oleh masyarakat di Vietnam bahkan setelah intervensi resmi telah berhenti. Namun, kopepoda memiliki keterbatasan, yakni tidak semua spesies nyamuk merupakan targetnya (Nam et al., 2000).

Untuk spesies Anuran (ordo dalam kelas Amphibia yang mencakup kelompok hewan, yang umumnya dikenal sebagai kodok dan katak), penelitian mengenai pengendalian nyamuk masih sangat sedikit sehingga belum banyak informasi yang diketahui. Sebagai contoh, berudu ternyata secara aktif memangsa telur *Aedes aegypti*. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa spesies nyamuk ini memiliki preferensi untuk bertelur di dalam air yang terdapat kecebong, kemudian berudu *Polizedates cruciger*, serta genus *Bufo*, *Ramanella*, *Euphylyctis*, dan *Hoplobatrachus* memangsa telurnya. Namun, penelitian lain menunjukkan efek yang minimal dari tiga spesies anuran Thailand (*Bufo melanostictus*, *Kaloula pulchra*, dan *Hylarana raniceps*), terhadap Larva *Cx. quinquefasciatus*. Penggunaan kontrol biologis, seperti ikan

dan amfibi ternyata tidak sesuai seperti kebanyakan lingkungan urban yang banyak terdapat larva *Aedes* sp. Hal ini membutuhkan penelitian lebih lanjut (Khatiwada et al., 2016).

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Bab 5

METODE PENGENDALIAN VEKTOR SECARA KIMIAWI

A. KONSEP PENGENDALIAN VEKTOR SECARA KIMIAWI

Pengendalian vektor secara kimiawi merupakan teknik intervensi untuk mengurangi populasi vektor dan meminimalisir penyebaran penyakit menggunakan bahan kimia, yakni insektisida. Oleh karena itu, penggunaan pilihan insektisida yang digunakan harus memiliki kadar toksisitas rendah pada manusia. Prosedur pengiriman, pemakaian, dan penyimpanan insektisida merupakan hal yang harus diperhatikan dalam pengendalian vektor secara kimiawi. Staf yang terlatih pada semua tahap manajemen penggunaan insektisida diperlukan, yakni dari pengadaan, penyimpanan, penggunaan, dan pembuangan limbah.

B. INSEKTISIDA

Insektisida merupakan bahan yang mengandung persenyawaan kimia dan digunakan untuk membunuh serangga. Insektisida adalah semua zat kimia dan bahan lain serta jasad renik, yang digunakan untuk memberantas atau mencegah binatang yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia.

Menurut Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (Kemenkes RI) (2012), insektisida kesehatan masyarakat adalah insektisida yang digunakan untuk pengendalian vektor penyakit dan hama permukiman seperti nyamuk, serangga pengganggu lain (lalat kecoak/lipas), tikus, dan kutu yang dilakukan di daerah permukiman endemis, pelabuhan, bandara, dan pasar.

Kriteria insektisida yang baik, yakni mempunyai daya bunuh yang besar dan cepat, tidak berbahaya bagi manusia dan binatang lain, murah dan mudah didapat dalam jumlah yang besar, mempunyai susunan kimia yang stabil, tidak mudah terbakar, mudah diaplikasikan dan dapat dicampur dengan berbagai macam pelarut, serta tidak berwarna dan tidak berbau yang tidak menyenangkan. Efektivitas insektisida dalam memberantas serangga tergantung pada bentuk, cara masuk ke dalam badan serangga, macam bahan kimia yang digunakan, serta konsentrasi dan dosis insektisida. Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam upaya pengendalian vektor menggunakan insektisida, yaitu spesies serangga yang akan dikendalikan, ukurannya, susunan badannya, dan stadiumnya (van den Berg et al., 2021).

Beberapa istilah penting yang berhubungan dengan insektisida dijelaskan sebagai berikut.

- 1) Ovisida: insektisida untuk membunuh stadium telur.
- 2) Larvasida: insektisida untuk membunuh stadium larva/nimfa. Larvasida yang paling luas digunakan untuk mengendalikan larva *Aedes aegypti* adalah *temephos*. Cara ini biasanya dengan menaburkan abate ke dalam bejana tempat penampungan air, seperti bak mandi, tempayan, drum, yang dapat mencegah adanya jentik selama 2-3 bulan.
- 3) Adultisida: insektisida untuk membunuh stadium dewasa.
- 4) Akarisida: insektisida untuk membunuh tungau.
- 5) Pedikulisida: insektisida untuk membunuh tuma/kutu.

Pada dasarnya, semua insektisida adalah racun maka penggunaannya harus penuh kehati-hatian dengan mempertimbangkan aspek keamanan bagi kesehatan masyarakat, petugas, serta lingkungan.

Selain itu, upaya pengendalian vektor juga perlu mempertimbangkan aspek-aspek efektivitas dan efisiensi serta bioekologi vektor dan dinamika penularan penyakit di masing-masing wilayah. Berdasarkan berbagai pertimbangan tersebut dan agar penggunaan insektisida memperoleh manfaat yang sebesar-besarnya dalam pengendalian vektor, pelaksanaannya harus mengacu pada peraturan perundang-undangan yang ada. Penggunaan yang lama pada suatu insektisida kimia harus diperhatikan karena dapat menimbulkan resistensi pada serangga, sasaran, dan gangguan kesehatan pada manusia. Penggunaan insektisida yang terus menerus selama 2–20 tahun dapat menimbulkan resistensi terhadap serangga sasaran.

C. PENGELOMPOKKAN INSEKTISIDA

1. Berdasarkan Cara Aplikasinya

Klasifikasi insektisida berdasarkan cara aplikasinya dibedakan menjadi dua, dijelaskan sebagai berikut.

- 1) Insektisida kontak/non-residual
Insektisida jenis ini langsung kontak dengan tubuh saat diaplikasikan. Penerapan kontak langsung dapat berupa penyemprotan udara (*space spray*), baik dengan pengkabutan panas (*thermal fogging*) maupun dengan pengkabutan dingin (*cold fogging/ultra low volume* (ULV)).
- 2) Insektisida residual
Insektisida jenis ini diaplikasikan pada permukaan suatu tempat dengan tujuan apabila serangga melewati ataupun hinggap, serangga akan terpapar dan akhirnya mati. Umumnya, insektisida yang bersifat residual adalah insektisida dalam formulasi *wettable powder* (WP), *water dispersible granule* (WG), *suspension concentrate* (SC), *capsule suspension* (CS), dan dalam bentuk serbuk.

2. Berdasarkan Cara Masuknya (*Mode of Entry*)

Insektisida berdasarkan cara masuknya ke dalam tubuh serangga dapat dibedakan sebagai berikut.

- 1) Insektisida kontak
Insektisida jenis ini masuk ke dalam tubuh serangga melalui kulit, celah/lubang alami pada tubuh serangga, ataupun langsung mengenai mulut serangga. Apabila serangga bersinggungan langsung dengan insektisida tersebut, serangga akan mati.
- 2) Insektisida racun perut
Insektisida jenis ini membunuh serangga sasaran dengan cara masuk ke sistem pencernaan melalui makanan. Insektisida yang masuk ke organ pencernaan akan diserap oleh dinding usus kemudian ditranslokasikan ke tempat sasaran yang mematikan, misalnya ke pusat saraf serangga, organ respirasi, serta meracuni sel-sel pada lambung, sesuai dengan jenis bahan aktif insektisida.
- 3) Insektisida racun pernapasan
Insektisida jenis ini masuk melalui trakea serangga dalam bentuk partikel mikro yang melayang di udara. Serangga akan mati bila menghirup partikel mikro insektisida dalam jumlah yang cukup. Kebanyakan racun pernapasan berupa gas, asap, ataupun uap dari insektisida cair.
- 4) Insektisida racun sistemik
Insektisida jenis ini mempunyai kinerja yang baik bila racun yang disempatkan sudah terserap masuk ke dalam tubuh serangga. Racun sistemik cocok untuk mengendalikan serangga yang sulit dikendalikan dengan racun kontak.

3. Berdasarkan Prinsip Kerjanya (*Mode of Action*)

Cara insektisida berpengaruh pada tubuh melalui titik target di dalam tubuh serangga, biasanya enzim atau protein. Beberapa insektisida dapat memengaruhi lebih dari satu titik target pada serangga. Beberapa cara kerja insektisida adalah sebagai berikut.

- 1) Insektisida yang memengaruhi sistem saraf
Insektisida jenis ini berpengaruh pada sistem saraf serangga. Sebagai contoh, jenis sintetik piretroid yang bekerja mengikat protein *voltage-gated sodium channel* (VGSG) yang mengatur denyut impuls saraf. Hal ini mengakibatkan impuls saraf akan mengalami stimulasi secara terus menerus dan mengakibatkan serangga menunjukkan gejala tremor/gemetar dan gerakan yang tak terkendali.
- 2) Insektisida yang mengganggu produksi energi
Insektisida jenis ini bekerja dengan mengganggu respirasi serangga, yaitu suatu proses yang menghasilkan energi untuk proses metabolisme. Insektisida golongan ini lebih sedikit dibandingkan yang cara kerjanya mengganggu sistem saraf.
- 4) Insektisida yang memengaruhi pertumbuhan serangga (*insect growth regulator*, IGR)
Insektisida ini bekerja untuk mengganggu proses perkembangan dan pertumbuhan serangga. Terdapat dua macam mekanisme, yakni yang memengaruhi sistem endokrin dan yang menghambat sintesis kitin. Insektisida berbahan aktif *hidropene*, *methoprene*, *pyriproxyfen*, dan *fenoxycarb* bekerja memengaruhi hormon juvenil dan menyebabkan gangguan pertumbuhan larva, tidak dapat berkembang menjadi pupa, kemudian mati. Berikut ini dua kelas yang terdapat pada IGR.
 - a) *Juvenoid* atau *juvenile hormone analog* (JHA)
Pemberian JHA akan mengakibatkan perpanjangan masa stadium larva dan kegagalan menjadi pupa. Pada stadium dewasa, hormon juvenil terlibat dalam regulasi *vitellogenesis* telur. Perubahan pada homeostasis pada tahap perkembangan ini dapat menyebabkan telur yang steril. Hormon juvenil dan *juvenile hormone mimics* bertindak sebagai stimulator (*suppressor*) terhadap ekspresi gen yang tergantung pada tahap perkembangan dan tipe protein pengatur. Hal ini menjelaskan variasi efek yang terjadi pada serangga yang diberikan *juvenoid*. *Fenoxycarb* adalah

IGR dengan aksi sebagai racun kontak dan pencernaan. Kandungan *fenoxycarb* memperlihatkan aktivitas hormon juvenil yang kuat, menghambat metamorfosis menjadi stadium dewasa, dan menghambat proses *moulting*. *Methoprene* merupakan IGR yang mencegah metamorfosis menjadi stadium dewasa yang aktif ketika diberikan pada tahap perkembangan larva. Contoh dari JHA, antara lain, *fenoxycarb*, *methoprene*, dan *pyriproxyfen*.

b) Penghambat sintesis kitin (*chitin synthesis inhibitor*).

Metode ini bekerja dengan cara mengganggu proses ganti kulit, yaitu dengan menghambat pembentukan kitin. Kitin adalah komponen utama eksoskeleton serangga. Terganggunya pembentukan kitin larva tidak dapat melanjutkan pertumbuhan serangga secara normal dan akhirnya mati. Contoh insektisida jenis ini, yaitu diflubenzuron dan heksaflumuron.

- 5) Insektisida yang memengaruhi keseimbangan air tubuh
Prinsipnya, insektisida jenis ini memengaruhi keseimbangan air pada tubuh serangga. Serangga akan kehilangan banyak air, mengalami desikasi, dan akhirnya mati. Bahan yang dapat menyerap lilin atau minyak pada tubuh serangga misalnya diatom, *silica aerogels*, dan asam borat.

4. Berdasarkan Macam Bahan Kimianya

Berikut tiga jenis insektisida berdasarkan macam bahan kimianya.

- 1) Insektisida anorganik, terdiri dari golongan sulfur, merkuri, dan golongan arsenikum.
- 2) Insektisida organik, berasal dari alam, yakni tumbuh tumbuhan, misalnya ekstrak sejenis bunga krisan, mimba, dan akar tuba.
- 3) Insektisida organik sinteti, paling banyak dikenal umum, seperti dari golongan organofosfat, karbamat, dan piretroid sintetik.

Organofosfat bekerja menghambat enzim kolinesterase. Bahan aktif golongan ini banyak digunakan dalam *space spraying*, *indoor residual spraying* (IRS), ataupun larvasida, contohnya *malathion*, *fenitrothion*, *temephos*, *metil-primiphos*, *parathion*, dan *diazinon*. Akibat dari insektisida organofosfat, yakni terjadi penumpukan asetilkolin.

Sementara itu, cara kerja karbamat, mirip dengan organofosfat, tetapi bersifat *reversible* (dapat pulih kembali) sehingga relatif lebih aman dibandingkan organofosfat. Contoh insektisida golongan ini, yakni *bendiocarb* dan proposkor.

Piretroid sintetik bekerja dengan mengganggu sistem saraf. Golongan piretroid sintetik banyak digunakan untuk pengendalian serangga dewasa (*space spraying* atau IRS), kelambu berinsektisida, dan berbagai formulasi untuk pemakaian di rumah tangga. Contoh insektisida golongan ini, yakni metoflutrin, translutrin, d-fenotrin, lamda-sihalotrin, permetrin, sipermetrin, deltametrin, dan etofenproks.

D. FORMULASI INSEKTISIDA

Pemilihan formulasi insektisida yang tepat berpengaruh pada keefektivitasan pemakaian insektisida. Formulasi merupakan bentuk akhir hasil olahan bahan teknis suatu insektisida. Bentuk formulasi dapat berupa cair, padat, setengah padat, kental, atau campuran cair dan padat. Formulasi aerosol, *coil*, dan *vaporizer* tepat digunakan untuk serangga terbang karena akan mengisi ruangan dengan bahan aktif insektisida. Serangga yang merayap, seperti kecoak, digunakan insektisida yang formulasinya dapat menembus celah-celah kecil/pori-pori permukaan. Oleh karena itu, tipe serangga merayap lebih tepat menggunakan formulasi aerosol/*liquid* berbahan dasar minyak karena lebih tahan lama, tidak mudah menguap, dan dapat meresap dengan baik pada permukaan bahan. Kapur serangga juga dapat digunakan karena aplikasinya melekat pada permukaan bahan. Pertimbangan dalam memilih formulasi bahan, antara lain,

- 1) perilaku serangga sasaran,
- 2) ketersediaan alat,
- 3) bahaya kontaminasi lingkungan,
- 4) keamanan operator dan organisme non-target yang bukan sasaran,
- 5) kemungkinan kontaminasi makanan,
- 6) jenis permukaan, dan
- 7) biaya.

Kadar bahan aktif untuk formulasi cair dinyatakan dalam g/l, sedangkan formulasi padat, setengah padat, atau campuran cair dan padat dinyatakan dalam persen bobot (g/kg). Beberapa istilah yang harus dipahami dalam formulasi insektisida, yakni emulsi, *solution*, dan suspensi. Emulsi adalah suatu cairan yang terdispersi dalam cairan lainnya, masing-masing cairan tetap dalam identitasnya. Sementara itu, *solution* adalah campuran dua atau lebih bahan aktif dalam bahan lain (umumnya cairan), di mana semua bahan aktif tersebut secara sempurna larut. Suspensi adalah campuran dari partikel padat yang terdispersi dalam suatu cairan atau gas, tetapi tidak larut di dalamnya.

Jenis- jenis formulasi yang banyak digunakan pada kegiatan pengendalian vektor menurut Kemenkes RI (2012) sebagai berikut.

1) *Oil-miscible liquid* (OL)

Formulasi ini hanya terdiri dari bahan aktif yang dicampur dengan satu pelarut yang kuat (misalnya hidrokarbon aromatik) dan pelarut lain seperti minyak tanah. Pada aplikasinya, OL harus diencerkan dengan pengencer minyak (seperti solar). Keuntungan formulasi OL adalah efek *knock down* yang lebih cepat dibandingkan formulasi lain karena pelarut dalam formulasi tersebut membantu melarutkan lapisan lilin pada integumen serangga yang memudahkan kontak atau penyerapan bahan aktif ke dalam tubuh serangga. Minyak sebagai pelarut juga mempunyai daya insektisida.

2) *Emulsifiable concentrate* (EC)

Formulasi insektisida jenis ini dibuat dengan menambahkan emulsifier pada campuran bahan aktif dan satu atau lebih pelarut agar dapat bercampur dengan air membentuk emulsi minyak dalam air, berupa larutan putih seperti susu yang tidak tembus cahaya. Larutan putih seperti susu ini bahkan menjadi generik bagi awam bahwa insektisida itu harus bau dan membentuk larutan seperti susu bila ditambahkan air.

3) *Microemulsion* (ME)

Formulasi ini analog dengan formulasi EC dalam hal pelarutnya dan bahan aktif yang larut di dalamnya, tetapi formulasi ME akan membentuk suatu mikroemulsi setelah diencerkan dengan air, bukan emulsi.

4) *Emulsion, oil in water* (EW)

Formulasi EW atau dikenal juga sebagai *micro-emulsion* adalah formulasi cairan heterogen yang terdiri dari suatu partikel insektisida dalam pelarut organik yang terdispersi sebagai droplet halus dalam fase air. Partikel insektisida terbungkus oleh emulsifier dan bertahan hingga disemprotkan sehingga bahan aktif siap kontak dengan serangga. Untuk mempertahankan kestabilan formulasi, emulsifier yang digunakan biasanya lebih kuat dibandingkan pada EC. Kelebihan dari formulasi ini adalah penggunaan pelarut organik yang lebih sedikit, iritasi berkurang, serta efek residu dan toksisitasnya lebih baik dibandingkan EC. Kekurangan insektisida jenis lain dibandingkan EC, bergantung pada kualitas formulasinya, yaitu perlunya mengocok formulasi dalam kemasan sebelum dilarutkan dengan air, karena ada kemungkinan terjadi pemisahan secara sementara. EW hanya bisa dilarutkan dengan air saja.

5) *Wettable powder* (WP)

Insektisida jenis WP memiliki formulasi kering dengan cara mencampurkan bahan teknis dengan bubuk pembawa (seperti talkum dan kapur) dan suatu zat pembasah. Penambahan zat pembasah memungkinkan campuran bahan teknis dan

bahan pembawa dapat dilarutkan dalam air dan siap untuk diaplikasikan dengan alat semprot. Keuntungan formulasi WP ini kurang atau tidak bersifat fitotoksik dan bertahan pada permukaan apapun sehingga memberikan efek residual.

6) *Water dispersible granule (WG)*

Formulasi ini dikenal juga sebagai *dry flowable*, yaitu bentuk formulasi yang cara pembuatannya sama dengan WP, tetapi dibentuk dalam partikel lebih besar (granul). Formulasi ini dilarutkan dengan air dan diaplikasikan sebagaimana pada WP.

7) *Suspension concentrate (SC)*

Formulasi SC mengandung partikel bahan aktif yang sangat kecil di dalam suatu cairan (biasanya air). Sebelumnya, partikel bahan aktif digiling dahulu untuk mendapatkan ukuran yang lebih kecil. Dalam pembuatan formulasi, bahan pensuspensi dan bahan pembasah ditambahkan untuk menghindari partikel padat bahan aktif mengendap. Bahan pembasah diperlukan untuk tetap menjaga permukaan partikel padat terbasahi dengan air karena padatan tersebut umumnya bersifat hidrofobik.

8) *Capsule suspension (CS)*

Formulasi mikrokapsul memberikan kombinasi karakteristik yang menguntungkan, yaitu aktivitas residu meningkat, interval aplikasi lebih lama, efek biologi yang konstan atau tertunda, dapat diaplikasikan pada permukaan poros, mengurangi toksisitas mamalia, mengurangi polusi lingkungan, dan mengurangi penguapan dan pencucian (*leaching*). Pelepasan bahan aktif formulasi CS secara terkontrol bergantung pada ukuran partikel kapsul, ketebalan, dan permeabilitas dinding. Partikel kecil dan dinding tipis mengakibatkan pelepasan tercepat, sedangkan partikel besar dan dinding tebal mengakibatkan waktu pelepasan lambat. Cara sederhana untuk mengatur laju pelepasan bahan aktif dari kapsul adalah dengan mengatur ukuran partikel bahan aktif dan ketebalan serta permeabilitas dindingnya. Biasanya, formulasi yang ditujukan untuk serangga terbang memiliki

ukuran kapsul 10–20 μm , sedangkan untuk serangga merayap memiliki ukuran kapsul lebih besar, yaitu 30–50 μm .

9) *Dust* (DP)

Formulasi ini mengandung bahan aktif dan bahan pembawa yang berbentuk tepung/bubuk dengan ukuran partikel berkisar 250–350 mesh dan merupakan formulasi siap pakai. Biasanya, kadar bahan aktifnya relatif rendah (hanya berkisar 0,5–1 %) dibandingkan formulasi WP.

10) Granul (GR),

Granul merupakan formulasi siap pakai. Pembuatannya dengan menyemprotkan cairan insektisida ke bahan butiran (misalnya pasir, sekam padi, dan tongkol jagung). Kadar bahan aktif dalam formulasi umumnya rendah karena formulasi ini merupakan formulasi siap pakai tanpa pengenceran lebih lanjut.

11) *Bait* (B) atau menggunakan umpan

Formulasi ini terdiri atas lembaran tisu, granul, gel, pasta, tablet, bubuk, batangan/blok, dan sebagainya. Bait/umpan merupakan campuran bahan aktif dengan bahan makanan hewan sasaran, seperti beras, jagung, atau takaran lainnya.

12) *Ultra low volume* (ULV),

Formulasi ini adalah formulasi siap pakai yang digunakan dengan alat semprot ULV. Umumnya digunakan untuk pengendalian vektor atau untuk kegiatan yang dilakukan dalam pengendalian serangga pada skala besar, misalnya pada lapangan bola, taman, dan lingkungan perumahan.

13) *Mosquito coil* (MC),

Formulasi MC dikenal dengan anti-nyamuk-bakar atau masyarakat umum menyebutnya sebagai obat nyamuk bakar. Formulasi MC dibuat dengan cara mencampurkan bahan aktif, umumnya adalah piretroid (*knockdown agent*), dengan bahan pembawa, seperti tepung tempurung kelapa, tepung kayu, tepung lengket, dan bahan lainnya (seperti pewangi, anti-jamur, dan bahan pewarna). Berbagai variasi pemasaran telah

berkembang pada formulasi ini, seperti warna yang bermacam-macam (biasanya hijau), bentuknya yang tidak selalu melingkar, dan berbagai jenis bahan pewangi untuk menarik pembeli.

14) *Aerosol (AE)*,

Aerosol adalah formulasi siap pakai yang paling diminati di lingkungan rumah tangga, setelah formulasi MC dan *liquid*. Untuk menghasilkan formulasi ini, bahan aktif dilarutkan dengan pelarut organik dan dimasukkan ke dalam kaleng aerosol, selanjutnya diisi gas sebagai tenaga pendorong (*propelan*) untuk menghasilkan droplet halus melalui nozel.

15) *Vaporizer*

Formulasi ini mengandalkan bahan aktif yang menguap, baik dengan bantuan energi dari luar maupun tanpa energi luar (*passive vaporizer*) untuk mengendalikan serangga terbang, khususnya nyamuk di dalam ruangan. Contohnya adalah *liquid vaporizer (LV)*, *mat vaporizer (MV)*, dan *vapor release product (VP)*.

16) Formulasi siap pakai lain

Beberapa macam formulasi siap pakai lain (di luar yang telah dijelaskan sebelumnya), antara lain, *lotion (LT)* biasanya untuk pengusir (*repellent*), briket (*briquette*), krim, dan masih banyak lagi, serta terus berkembang sesuai dengan perkembangan teknologi formulasi.

E. METODE PENGGUNAAN INSEKTISIDA

Penggunaan insektisida dilakukan dengan berbagai macam cara untuk menurunkan atau mengurangi populasi vektor. Pengendalian dilakukan dari serangga pradewasa hingga dewasa. Beberapa metode yang dapat digunakan dijelaskan sebagai berikut.

1. Pengasapan (*Thermal Fogging*)

Pengasapan (*thermal fogging*) merupakan penyemprotan dengan cara mencampurkan minyak dengan insektisida, kemudian dipanaskan

sehingga menjadi semacam kabut asap yang sangat halus. Metode ini lebih sering dikenal dengan istilah *fogging*. *Fogging* merupakan suatu teknik yang digunakan terutama untuk mengendalikan populasi *Aedes* sp. dewasa agar mencegah penularan penyakit demam berdarah dengue (DBD) dengan menggunakan senyawa, seperti *malathion* dan sipermetrin. Metode ini melibatkan pengasapan droplet-droplet kecil insektisida ke udara untuk membunuh nyamuk dewasa. Ukuran diameter droplet/partikel pada pengasapan dengan *thermal fogging* biasanya berukuran <15 mikron. Ukuran tersebut tergantung jenis mesin dan kondisi operasionalnya. Karakteristik utama dari metode ini, yakni ukuran butiran semprot yang dihasilkan sangat halus, mulai dari <1–150 mikron. Butiran halus ini bisa melayang lama di udara serta sanggup menyusup ke ruangan bahkan ke lubang dan retakan.

2. Pengabutan (*Cold Fogging*)

Cara ini mirip dengan *thermal fogging*, tetapi pelarut yang digunakan adalah air dan tidak menghasilkan kabut sebanyak pada *thermal fogging*. Droplet yang dihasilkan dari *cold fogging* ini tidak melibatkan panas, tetapi menggunakan energi mekanik. Cara pengabutan ini sering disebut dengan ULV *fogging*. Cara ini dilakukan dilakukan dengan menggunakan racun serangga seefisien mungkin untuk mengendalikan vektor pada area yang luas. Pada umumnya, ULV menggunakan insektisida dengan konsentrasi tinggi (>20%) dengan jangkauan semprotan yang cukup luas, yakni 80–100 meter. Golongan yang digunakan, antara lain, organofosfat, karbamat, dan piretroid sintetik dengan formulasi yang lebih tinggi dibandingkan pada *thermal fogging*. Waktu penerapannya pada pagi atau sore hari, dengan keadaan udara yang tidak terlalu panas, angin cukup tenang, dan maksimum kecepatan angin 20 km/jam.

Beberapa keuntungan penggunaan ULV dibanding dengan *thermal fogging* adalah sebagai berikut.

- 1) Polusi udara yang ditimbulkan dengan penggunaan ULV lebih kecil. Pada ULV, dapat digunakan dosis insektisida yang lebih

kecil dibandingkan pemakaian dengan *thermal fogging* untuk luas target area yang sama.

- 2) Pada ULV, bahaya yang ditimbulkan pada organisme bukan target berkurang.
- 3) ULV tidak menimbulkan bahaya kebakaran karena tidak memerlukan dorongan gas yang panas.
- 4) ULV tidak menyebabkan dampak gangguan pada aktivitas manusia karena tidak mengganggu penglihatan dibanding dengan *thermal fogging*.
- 5) Biaya operasional dan penggunaan bahan-bahan pada ULV lebih sedikit, tapi tetap efisien.

Namun, penggunaan insektisida dengan metode pengasapan ini hanya efektif untuk memberantas nyamuk dewasa saja. Efek *fogging* hanya efektif bertahan selama dua hari dan jenis insektisida yang digunakan harus diganti secara periodik untuk mencegah terjadinya resistensi.

3. Indoor Residual Spray (IRS)

Penyemprotan rumah dengan efek residual ini merupakan salah satu cara pemberantasan vektor dengan menempelkan racun/insektisida dengan dosis tertentu secara merata pada permukaan dinding yang disemprot. Kebanyakan IRS digunakan untuk mengendalikan nyamuk *Anopheles*, penular penyakit malaria. Tujuan pengendalian dengan IRS adalah untuk memutuskan penularan vektor karena umur nyamuk menjadi lebih pendek sehingga tidak sempat menghasilkan sporozoit di dalam kelenjar ludahnya. Berikut tata cara penyemprotan dengan metode IRS.

- 1) Permukaan dinding disemprot searah dengan jarum jam, dimulai dari pintu masuk.
- 2) Pintu dan jendela pada ruangan yang sedang disemprot ditutup, tetapi pintu atau jendela di ruangan yang tidak sedang disemprot dibuka sehingga petugas tidak bekerja di ruang yang tertutup.

Hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam melakukan penyemprotan insektisida adalah sebagai berikut.

1) Ukuran droplet

Ukuran yang cukup baik untuk droplet pada saat penyemprotan, yakni <100 mikron karena dengan ukuran tersebut akan mudah melayang saat penguapan.

2) *Flow rate*

Flow rate merupakan volume larutan yang dikeluarkan per satuan waktu, misalnya ml/detik. Makin besar *flow rate* maka makin besar pula diameter yang dihasilkan.

3) Konsentrasi insektisida

Konsentrasi insektisida yang digunakan harus mengacu pada label karena jika dosis yang digunakan tidak tepat, akan menimbulkan kerugian, tidak hanya dalam segi biaya tetapi juga berpengaruh pada keamanan manusia dan lingkungan.

4) Arah dan kecepatan angin

Dalam penerapan penyemprotan, arah angin harus diperhatikan karena berpengaruh ketika aplikasinya berada di luar ruangan. Untuk penerapan di luar ruangan, kecepatan angin yang sesuai, yakni 1–4 m/detik atau sekitar 3,6–15 km/jam. Angin diperlukan untuk membawa droplet masuk ke celah-celah bangunan, tetapi jika angin terlalu kencang, droplet akan lebih cepat hilang terbawa angin. Penyemprotan dilakukan dengan berjalan mundur melawan arah angin sehingga petugas penyemprot tidak terkena semprotan.

Terdapat beberapa faktor yang menentukan efektivitas IRS, dijelaskan sebagai berikut.

1) Perilaku istirahat nyamuk

Makin lama waktu istirahat nyamuk dalam ruangan, makin tinggi kemungkinan efek IRS pada nyamuk. Waktu istirahat beberapa jam biasanya cukup untuk membunuh sebagian besar spesies nyamuk dan lalat pasir. Penting juga untuk mengetahui

tempat peristirahatan yang disukai oleh nyamuk. Beberapa spesies hanya beristirahat di bagian bawah dinding, yang lainnya di atap.

- 2) Kerentanan nyamuk terhadap insektisida
Beberapa spesies nyamuk telah mengalami resistensi terhadap insektisida tertentu, terutama DDT (*dichlorodiphenyl-trichloroethane*), sehingga insektisida jenis lainnya harus digunakan. Resistensi harus dicurigai jika pengamatan berulang dilakukan terhadap nyamuk yang bertahan setelah beristirahat di permukaan yang disemprot selama paling sedikit setengah jam. Penggunaan uji resistensi insektisida penting untuk mengonfirmasi hal tersebut.
- 3) Kecocokan dinding atau atap untuk penyemprotan
Dinding yang terbuat dari tanah atau lumpur menyerap banyak insektisida di permukaan tempat nyamuk beristirahat. Beberapa dinding tanah mengandung bahan kimia yang meningkatkan pH, menyebabkan kerusakan beberapa insektisida dengan cepat. Atap yang terbuat dari jerami atau kayu sikat memberi celah di mana serangga beristirahat, tapi tidak bisa dijangkau dengan semprotan. Permukaan terbaik untuk penyemprotan, yakni yang tidak menyerap, seperti permukaan kayu keras dan permukaan yang dicat.
- 4) Kecocokan insektisida
Tujuan IRS adalah untuk membunuh serangga setelah mereka mendarat dan beristirahat di permukaan yang disemprot. Oleh karena itu, insektisida yang sesuai seharusnya tidak memiliki zat penolak/repelen. Beberapa insektisida yang membunuh pada kontak di udara tanpa mengusir serangga, antara lain, *bendiocarb*, *propoxur*, *pirimiphos methyl*, dan *fenitrothion*. Untuk formulasinya, konsentrat yang dapat diemulsikan pada umumnya tidak sesuai.
- 5) Kerja sama dengan pemilik rumah
Penyemprotan rumah dalam ruangan kadang menimbulkan banyak masalah dan kesalahpahaman antara tim penyemprot

dan pemilik rumah. Pendidikan kesehatan yang baik diperlukan untuk menjelaskan alasan penyemprotan. Namun, petugas yang bertanggung jawab untuk merencanakan dan melaksanakan kegiatan penyemprotan harus menghormati adat istiadat dan kepercayaan setempat.

Berikut karakteristik insektisida yang baik digunakan untuk IRS.

- 1) Insektisida sangat toksik untuk serangga sasaran. Insektisida mungkin kehilangan keefektifannya jika serangga target mengalami resistensi. Dari waktu ke waktu, sampel serangga target harus dikumpulkan dan diperiksa untuk uji resistensi. Jika resistensi terjadi, insektisida lain tanpa resistensi silang harus digunakan.
- 2) Insektisida dapat bertahan lama pada permukaan tertentu. Toksisitas harus tetap tinggi pada waktu yang cukup lama untuk mencegah kebutuhan aplikasi ulang yang sering, yang tentu saja mahal dan menyita waktu.
- 3) Insektisida tidak bersifat menolak/repelen sehingga serangga akan tetap hinggap dan mati.
- 4) Insektisida aman bagi manusia dan hewan piaraan. Insektisida yang digunakan seharusnya tidak membahayakan bagi pekerja yang menyemprot, penghuni, atau hewan yang secara tidak sengaja terkontaminasi dengan insektisida selama atau setelah penyemprotan.
- 5) Insektisida dapat diterima oleh pemilik rumah. Beberapa formulasi insektisida kurang dapat diterima karena baunya atau karena mereka meninggalkan deposit yang tidak menarik di dinding
- 6) Insektisida stabil selama penyimpanan dan transportasi, mudah tercampur merata dengan air, dan tidak berbahaya untuk peralatan penyemprotan.
- 7) Insektisida memiliki biaya yang minim. Perhitungan biaya harus didasarkan pada bagaimana insektisida diaplikasikan, berapa dosisnya, dan berapa kali penerapannya dalam setahun.

4. Kelambu Berinsektisida

Salah satu metode aplikasi insektisida, yakni menggunakan kelambu berinsektisida. Kelambu merupakan tirai tipis dan tembus pandang dengan jaring-jaring yang dapat mencegah kontak dengan berbagai serangga. Sejak tahun 1980, teknik kelambu ini digunakan untuk pencegahan malaria dengan ditambahkan insektisida. Kelambu berinsektisida ada dua jenis, yakni *insecticide treated nets* (ITNs) dan kelambu *long lasting insecticidal nets* (LLIN). ITNs merupakan kelambu yang sebelum digunakan dicelupkan ke dalam larutan insektisida terlebih dahulu dan dilakukan pencelupan ulang setiap 6 bulan sekali. LLIN merupakan kelambu yang sudah mengandung insektisida sehingga bisa langsung siap dipakai dalam jangka yang panjang sampai 3–5 tahun tanpa perlu dilakukan pencelupan ulang. Insektisida yang sering digunakan untuk kelambu berinsektisida, yakni piretroid dan permetrin. Pemakaian kelambu berinsektisida ini diharapkan akan menghindari kontak antara nyamuk dengan manusia. Berikut kelebihan dari penggunaan kelambu berinsektisida.

- 1) Cara pencelupan kelambu relatif sederhana, mudah, dan sangat efektif dalam memberikan perlindungan dari gigitan nyamuk.
- 2) Kelambu berinsektisida dapat menurunkan penularan penyakit malaria karena nyamuk *Anopheles* yang hinggap pada kelambu pada waktu istirahat akan mati.
- 3) Kelambu berinsektisida dapat efektif membunuh serangga lainnya, seperti lipas, lalat rumah, kutu busuk, dan semut.

Sementara itu, kelemahan dari penggunaan kelambu berinsektisida sebagai berikut.

- 1) Efektivitas kelambu berinsektisida tergantung pada kontak langsung dengan nyamuk sehingga perlu diperhatikan dinamika spesies nyamuk setempat.
- 2) Diperlukan perawatan kelambu yang baik dan benar sehingga tidak mudah robek, rusak, dan berkurangnya kandungan insektisida pada kelambu.

5. *Dusting*

Dusting merupakan salah satu metode pengendalian yang melibatkan aplikasi serbuk atau bubuk insektisida pada area tertentu untuk mengendalikan populasi vektor penyakit. *Dusting* melibatkan penyebaran bubuk insektisida di area yang diidentifikasi sebagai habitat atau tempat berkembang biak vektor penyakit. Bubuk insektisida ini biasanya mengandung bahan kimia yang efektif dalam membunuh atau mengendalikan vektor. Aplikasi bubuk insektisida biasanya dilakukan dengan menggunakan peralatan, seperti *sprayer* atau alat penyebar serbuk yang menghasilkan partikel kecil untuk memastikan penyebaran merata di area yang dituju.

6. Pengumpanan (*Baiting*)

Cara ini biasanya dilakukan untuk mengendalikan populasi lalat atau tikus dengan menggunakan bahan kimia berbentuk granul/butiran, cairan, gel, pasta, tablet, bubuk, dan batangan. Bahan aktif kimia pada pestisida yang digunakan biasanya mengandung Azamethiphos 1%.

7. Pengolesan (*Repelen/Repellent*)

Cara ini dilakukan dengan mengoleskan langsung bahan ke kulit atau menyemprotkannya pada pakaian untuk mencegah kontak dengan serangga sehingga dapat menghindari bahaya vektor penyakit. Repelen seharusnya tidak melekat atau lengket, tidak mengganggu pemakainya, baunya menyenangkan pemakainya, tidak menimbulkan iritasi pada kulit, tidak beracun, tidak merusak pakaian, dan daya usir terhadap serangga hendaknya bertahan cukup lama. DEET (*N,N-Diethyl-met-toluamide*) merupakan salah satu contoh repelen yang tidak berbau, tetapi dapat menimbulkan rasa terbakar jika mengenai mata atau luka. Oleh karena itu, DEET tidak boleh digunakan pada bayi di bawah 2 bulan. Anak-anak yang berumur dua bulan atau lebih hanya dapat menggunakan produk dengan konsentrasi DEET 30% atau lebih.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk pemakaian repelen.

- 1) Penggunaan repelen hanya di kulit yang terbuka dan di pakaian, dan jangan digunakan pada kulit yang terlindungi oleh pakaian.
- 2) Jangan menggunakan repelen pada kulit yang terluka atau iritasi.
- 3) Jangan menggunakan repelen di mata atau mulut dan gunakan sesedikit mungkin pada telinga. Ketika menggunakan *spray*, jangan langsung disemprotkan ke wajah, tetapi disemprotkan terlebih dahulu ke tangan lalu diusapkan ke wajah.
- 4) Jangan biarkan anak-anak memegang repelen. Ketika anak-anak hendak menggunakannya, letakkan terlebih dahulu di tangan orang dewasa lalu diaplikasikan ke anak-anak tersebut.
- 5) Repelen digunakan secukupnya untuk kulit yang terbuka.
- 6) Jika kulit mengalami ruam/kemerahan, hentikan pemakaian repelen.

Contoh jenis insektisida yang dapat digunakan sebagai repelen, yaitu DEET dan ikaridin. Selain itu, ada juga repelen dari bahan alam, seperti minyak serih, sitronela, dan minyak eukaliptus. Pemakaian dengan cara ini merupakan salah satu metode yang paling sering digunakan oleh masyarakat sebagai perlindungan personal terhadap nyamuk karena kenyamanan dan kemudahan pada penggunaannya.

Pemakaian insektisida sintetis mempunyai kelebihan dan kekurangan. Dampak negatif dapat diakibatkan dari pemakaian insektisida sintetis, antara lain,

- 1) terbunuhnya musuh alami,
- 2) terjadinya resistensi insektisida,
- 3) adanya ledakan hama baru (resurgensi), dan
- 4) terjadinya pencemaran lingkungan oleh residu bahan kimia.

Namun, pemakaian insektisida sintetis juga mempunyai beberapa kelebihan, antara lain,

- 1) mempunyai daya bunuh yang besar dan cepat,
- 2) harganya murah dan mudah didapat dalam jumlah yang besar, serta

- 3) mudah digunakan dan dapat dicampur dengan berbagai macam bahan pelarut.

F. BAHAYA DAN TOKSISITAS INSEKTISIDA

Banyak insektisida yang digunakan untuk membunuh vektor serangga memiliki spektrum yang luas dan berpotensi membahayakan organisme non-target lainnya, termasuk manusia. Identifikasi risiko efek dari insektisida harus dilakukan untuk menilai efek negatif dari pemakaiannya. Penilaian perlu memperhitungkan dosis insektisida individual yang digunakan. Untuk pengendalian vektor, dosis yang digunakan dalam semprotan ruang adalah sebagian kecil dari yang dibutuhkan untuk perawatan residu. Sangat penting untuk membaca label produk, untuk memastikan dosis yang tepat diterapkan dalam kaitannya dengan metode aplikasi.

Toksistas merupakan suatu kemampuan yang ada pada bahan kimia untuk menimbulkan keracunan/kerusakan. Toksistas biasanya dinyatakan dalam suatu nilai yang dikenal dengan dosis atau konsentrasi mematikan pada hewan coba yang dinyatakan dengan *lethal dose* (LD) atau *lethal concentration* (LC). Toksistas insektisida pada manusia awalnya dinilai sebagai toksistas oral akut pada tikus, untuk menentukan dosis yang diukur dalam miligram bahan aktif per kilogram berat badan yang akan membunuh 50% populasi hewan uji, yang dikenal sebagai LD₅₀. Dengan kata lain, LD₅₀ merupakan dosis yang mematikan 50% hewan coba jika diberikan melalui mulut (oral) atau diserap melalui kulit (dermal) atau bahkan terhisap melalui pernapasan (inhalasi). LD₅₀ biasanya dinyatakan dalam mg/l atau mg/serangga. Makin kecil nilai LD₅₀ suatu insektisida, maka semakin beracun insektisida tersebut. Hewan coba yang biasa digunakan untuk menentukan nilai toksistas insektisida biasanya tikus (Ministry of Agriculture FaFBC, 2022).

Sejak 1975, World Health Organization (WHO) telah menerbitkan daftar pestisida dengan data berdasarkan toksistas akut. Pengukuran ini memberikan dasar di mana insektisida berbeda dapat dibandingkan,

tetapi datanya tidak menunjukkan bahaya sebenarnya yang terlibat dalam penggunaan insektisida. Paparan insektisida akan bervariasi pada petugas yang terlibat untuk penggunaan insektisida. Orang yang menyiapkan semprotan dan mengaplikasikannya di dalam rumah perlu dilindungi sehingga paparan semprotan dapat dihindari semaksimal mungkin dengan mengenakan pakaian pelindung. Paparan mereka akan berbeda dengan paparan mereka yang bisa berada di dalam kendaraan sambil mengaplikasikan semprotan di luar ruangan. Demikian pula, pemaparan penghuni rumah akan sangat berbeda karena berkaitan dengan paparan kulit saat menyentuh permukaan yang berinsektisida. Durasi paparan akan bervariasi di antara orang-orang ini, sementara serapan akan terpengaruh oleh cara insektisida diformulasikan. Penilaian terhadap paparan spesies non-target lainnya sekarang diperlukan sebagai bagian dari penilaian lingkungan terhadap penggunaan insektisida.

Tabel 5.1 Label Keterangan Insektisida

Kelas Bahaya	Keterangan yang perlu dicantumkan dalam label			
	Pernyataan Berbahaya	Warna	Simbol Bahaya	Simbol Kata
Ia. Sangat Berbahaya Sekali	Sangat beracun	Coklat Tua		 Sangat Beracun
Ib. Berbahaya Sekali	Beracun	Merah Tua		 Beracun
II. Berbahaya	Berbahaya	Kuning Tua		 Berbahaya
III. Cukup Berbahaya	Perhatian	Biru Muda		Perhatian!!!
IV. Tidak Berbahaya Pada Pemakaian Normal		Hijau		

Sumber: Petani Rasional (2017)

Klasifikasi toksisitas menurut rekomendasi WHO (2003) digunakan berdasarkan nilai LD_{50} tikus oral dan dermal. Dari angka-angka tersebut, satu dari empat warna yang ada digunakan sebagai pita warna sesuai dengan pernyataan bahaya dan simbol bahaya yang menunjukkan klasifikasi bahayanya dan diletakkan sepanjang bagian bawah label. Tabel 5.1 menunjukkan simbol-simbol pada label keternagan insektisida.

G. PENGELOLAAN INSEKTISIDA

Pengelolaan dan penanganan insektisida perlu dilakukan dengan baik untuk mencegah terjadinya pencemaran lingkungan dan menjamin mutu insektisida yang akan digunakan. Oleh karena itu, perlu diperhatikan beberapa hal dalam mengelola insektisida.

1. Penyimpanan Insektisida

Proses penyimpanan insektisida yang digunakan dalam pengendalian vektor harus memenuhi persyaratan berikut.

- 1) Gudang tempat penyimpanan insektisida harus memenuhi beberapa persyaratan, yaitu
 - a) aman dari pencurian,
 - b) tidak bocor,
 - c) tidak terkena banjir,
 - d) cukup ventilasi/penerangan atau pencahayaan, dan
 - e) khusus untuk gudang penyimpanan insektisida, terletak tidak menyatu dengan tempat permukiman.
- 2) Insektisida tidak digabung dengan bahan non-insektisida.
- 3) Konstruksi bangunan gedung tempat penyimpanan insektisida harus memenuhi beberapa kriteria, seperti
 - a) lantai dan dinding harus kedap air dan mudah dibersihkan,
 - b) langit-langit atap terbuat dari bahan yang ringan dan tidak tembus cahaya,

- c) bangunan dilengkapi dengan *exhaust fan* (kipas penghisap), dan
 - d) bahan bangunan sedapat mungkin tidak mudah terbakar.
- 4) Tempat penyimpanan insektisida memiliki beberapa persyaratan terkait sanitasi, seperti
- a) tersedia air bersih yang cukup,
 - b) tersedia tempat cuci tangan yang dilengkapi dengan sabun dan kain lap, serta
 - c) tersedia tempat sampah.
- 5) Tata letak tempat penyimpanan insektisida harus ditata dengan baik, yakni
- a) insektisida yang akan disimpan dikelompokkan berdasarkan bentuk formulasi (padat atau cair), secara tepat dan aman;
 - b) setiap kemasan insektisida tidak boleh diletakkan langsung di atas lantai, untuk kemasan yang berat (*drum, bags, boxes*) diletakkan/disusun di atas balok-balok kayu (*pallet*), untuk kemasan kecil diletakkan/disusun di dalam rak;
 - c) tinggi rak/susunan kemasan besar, maksimal dua meter dan jarak dari atap gedung minimal satu meter;
 - d) insektisida dengan kemasan bungkusan yang berbentuk kotak disusun dengan sistem berkait dengan diberi jarak di antara tumpukan untuk sirkulasi udara;
 - e) jarak tumpukan insektisida dari dinding minimal 50 cm untuk mobilisasi individu;
 - f) cara meletakkan dan menyusun kemasan insektisida harus diatur untuk memudahkan pemeriksaan dan sirkulasi barang *first expired first out* (FEFO);
 - g) penyimpanan insektisida harus dilengkapi dengan kartu stok, kartu gudang, dan kartu barang; serta
 - h) di antara tumpukan insektisida harus ada lorong atau gang yang dapat dilalui dengan lebar minimal 50 cm.

- 6) Distribusi perlu dilakukan dengan baik agar kualitas insektisida tetap terjaga. Untuk itu, harus diperhatikan bahwa dalam pendistribusian insektisida, kemasan harus dijaga dari kerusakan atau kebocoran dan terlindung dari pengaruh cuaca luar (panas, hujan, dan cuaca ekstrem). Penempatan insektisida dalam sarana angkutan harus diatur sehingga tidak mudah terjadi benturan selama perjalanan.
- 7) Penanganan insektisida selama operasional di lapangan perlu memperhatikan hal-hal berikut:
 - 1) penyimpanan sementara di lapangan/desa ditempatkan pada ruangan atau peti yang dapat dikunci,
 - 2) harus ada petugas yang mengawasi,
 - 3) sisa insektisida segera dikembalikan ke gudang asal, dan
 - 4) sisa larutan insektisida dan wadahnya harus dikubur minimal setengah meter di dalam tanah, jauh dari sumber air.
- 8) Pemusnahan insektisida dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti dengan penguburan dalam tanah (*landfill*), panas (*thermal decomposition*), dan kimiawi (*chemical neutralization*). Di antara cara-cara tersebut, yang paling mungkin dilakukan adalah penguburan dalam tanah (*landfill*).
 - a) Penguburan dalam tanah (*landfill*)

Cara ini pada dasarnya digunakan bila belum diperoleh cara lain yang lebih tepat. Untuk suatu jumlah sisa insektisida yang sedikit, penguburan dilakukan minimal setengah meter di dalam tanah, jauh dari sumber air.
 - b) Pemanasan (*thermal decomposition*)

Pemusnahan insektisida dengan pemanasan dilakukan dengan suhu tinggi (900°C–1000°C) melalui insinerator (instalasi pembakaran).
 - c) Kimiawi (*chemical neutralization*)

Cara ini hanya dapat dilakukan oleh instansi yang kompeten.

H. PENGGUNAAN INSEKTISIDA YANG AMAN

Semua pestisida bersifat beracun sampai taraf tertentu. Oleh karena itu, tindakan pencegahan keamanan untuk penggunaannya, termasuk perawatan dalam penanganan pestisida, praktik kerja yang aman bagi petugas yang menerapkannya, dan penerapan lapangan yang tepat, harus diikuti. Beberapa langkah keamanan untuk aplikasi insektisida dapat diatur dengan beberapa kesesuaian sebagai berikut.

- 1) Petunjuk pada label pestisida harus diikuti dengan hati-hati.
- 2) Petugas yang mengaplikasikan insektisida harus diberi setidaknya dua seragam untuk beradaptasi pada kondisi saat mengaplikasikan insektisida.
- 3) Sarung tangan, kacamata, dan masker pengaman harus digunakan untuk aktivitas dengan paparan tinggi seperti kalibrasi mesin.
- 4) Fasilitas ganti dan cuci harus tersedia.
- 5) Pekerja harus melepaskan semua pakaian kerja pada akhir pengaplikasian insektisida setiap hari dan pekerja harus mandi.
- 6) Pakaian kerja harus dicuci secara teratur.
- 7) Perhatian khusus harus diberikan, seperti mencuci sarung tangan karena memakai sarung tangan yang terkontaminasi bisa berbahaya.
- 8) Petugas harus mencuci tangan dan wajah sebelum makan dan tidak merokok ketika bekerja.
- 9) Petugas tidak boleh terpapar/terkena bahan beracun untuk periode lebih lama dari yang direkomendasikan.
- 10) Pembuangan wadah insektisida bekas juga harus diperhatikan. Setelah selesai pengaplikasian insektisida, setiap larvasida cair yang tidak digunakan harus dibuang dengan aman.
- 11) Kadar *cholinesterase* darah petugas harus dipantau jika insektisida organofosfat digunakan.
- 12) Pengawasan operator oleh individu yang terlatih sangat penting.
- 13) Selama dan segera setelah operasi penyemprotan ruang dalam ruangan, orang dan hewan peliharaan harus tetap berada di luar hunian.



Bab 6

RESISTENSI INSEKTISIDA

A. RESISTENSI INSEKTISIDA

Resistensi merupakan kemampuan suatu organisme untuk mentoleransi suatu dosis toksikan yang biasanya mematikan pada kebanyakan individual normal pada spesies yang sama (World Health Organization [WHO], 2016). Menurut WHO, resistensi insektisida didefinisikan sebagai keadaan ketika vektor tidak dapat dimatikan menggunakan dosis standar insektisida atau vektor berhasil menghindari kontak dengan insektisida melalui fenomena evolusi. Resistensi ini secara genetik dapat diturunkan ke generasi berikutnya. Oleh karena itu, resistensi insektisida merupakan ancaman utama terhadap metode pengendalian vektor yang ada. Hal ini terutama disebabkan oleh ketergantungan yang besar pada satu kelas insektisida, yakni piretroid. Piretroid tidak hanya sangat efektif, tapi juga merupakan kelas insektisida kelas bawah yang paling murah yang tersedia untuk pengendalian vektor kesehatan masyarakat. Di beberapa daerah, resistensi terhadap keempat kelas insektisida (*temephos*, *methoprene*, *pyriproxyfen*, dan novaluron) juga telah terdeteksi (Chareonviriyaphap et al., 2013).

Resistensi insektisida ditandai dengan berkurangnya kerentanan nyamuk terhadap insektisida yang digunakan. Fenomena resistensi insektisida pada nyamuk *Aedes* sp. awalnya terdeteksi pada *dichlorodiphenyltrichloroethane* (DDT), lalu terhadap *temephos*, kemudian pada piretroid sintetis (Ffrench-Constant, 2013).

Resistensi insektisida pada nyamuk *Culex* sp. juga telah terdeteksi di beberapa negara (Jones et al., 2012; Yadouléton et al., 2015). Terdeteksinya resistensi insektisida akan memengaruhi program pengendalian nyamuk *Aedes* sp. ataupun *Culex* sp. karena bila nyamuk telah resisten/kebal terhadap insektisida yang digunakan, program pencegahan dan pengendalian nyamuk yang dilakukan tidak akan efektif. Namun, deteksi resistensi insektisida jarang dilakukan di lapangan sehingga kemungkinan adanya resistensi insektisida yang digunakan tidak diketahui. Hal ini akan mendorong terjadinya ketidakefektifan upaya penanggulangan yang dilakukan karena kasus akan muncul kembali karena tidak matinya nyamuk ketika terpapar insektisida (De Lourdes Da Graça Macoris et al., 2014). Hal ini merupakan masalah serius bagi upaya pengendalian penyakit tular vektor.

Resistensi insektisida pada nyamuk *Aedes aegypti* mudah terjadi dan meluas di seluruh dunia. Bermula terhadap DDT di Karibia pada tahun 1955 dan di Thailand. Resistensi juga terjadi pada sintetis piretroid di Brazil, Thailand, dan Indonesia (Zulfa et al., 2022). Tiga cara mendeteksi resistensi sintetis piretroid menurut WHO, antara lain, uji *bioassay*, biokimia, dan molekuler (Marcombe et al., 2012). Mekanisme deteksi biokimia dilakukan dengan cara mendeteksi peningkatan kadar enzim yang mendetoksifikasi insektisida (resistensi metabolik). Enzim-enzim yang sering digunakan sebagai penanda perubahan, antara lain, *cytochrome P450 monooxygenases* (P450s), *glutathione S-transferases* (GSTs) dan *carboxy/cholinesterases* (CCEs) (Owusu et al., 2015). Dalam perkembangan selanjutnya, telah ditemukan kejadian resistensi tanpa adanya peningkatan enzim biokimiawi. Hal tersebut telah mendorong para ahli untuk menemukan cara deteksi lain, yaitu menggunakan uji molekuler. Uji tersebut mendeteksi resistensi

sintetik piretroid pada *Ae. aegypti* dengan cara menemukan mutasi titik gen *voltage-gated sodium channel* (VGSC) sebagai target sasaran tempat kerja insektisida (resistensi target). Deteksi mutasi yang sering diteliti pada *Aedes aegypti* adalah Val1016Ile, yaitu perubahan kodon pengkode asam amino Valine menjadi Isoleucine (Marcombe et al., 2012; Dusfour et al., 2011).

Resistensi insektisida pada *Culex* sp. dan *Anopheles* sp. juga sudah terjadi di beberapa wilayah (Jones et al., 2012). Untuk mendeteksi resistensi insektisida pada *Culex* sp., gen *knockdown resistance* (KDR) dan Ace-1 merupakan gen deteksi yang sering dikaitkan dengan resistensi DDT dan piretroid (Yanola et al., 2015). Beberapa studi yang meneliti mekanisme resistensi pada gen KDR menemukan beberapa mutasi yang signifikan, berkaitan dengan resisten, yakni Gly923Val, Leu982Trp, Ile1011Val, Ile1011Met, Val1016Ile, dan Val1016Gly. (Kazanidou et al., 2009)

B. MEKANISME RESISTENSI INSEKTISIDA

Terdapat beberapa mekanisme terjadinya resistensi insektisida, sebagai berikut (Chareonviriyaphap et al., 2013).

1) Resistensi metabolik

Serangga yang resisten dapat mendetoksifikasi atau menghancurkan racun lebih cepat daripada serangga yang rentan. Resistensi metabolik merupakan mekanisme yang paling umum dan sering kali menimbulkan tantangan terbesar. Serangga menggunakan sistem enzim internalnya untuk menghancurkan insektisida. *Strain* resisten mungkin memiliki enzim dengan tingkat yang lebih tinggi atau enzim yang lebih efisien. Selain menjadi lebih efisien, sistem enzim ini juga mungkin memiliki spektrum aktivitas yang luas, yaitu mereka dapat mendegradasi banyak insektisida yang berbeda.

2) Resistensi *target-site resistance*

Mekanisme ini terjadi ketika serangga dapat memodifikasi secara genetik bagian yang biasa berinteraksi dengan

insektisida sehingga tidak terjadi perlekatan atau interaksi dengan insektisida. Hal ini mengakibatkan efek mematikan dari insektisida akan berkurang atau hilang.

3) *Penetration resistance*

Serangga yang resisten dapat menyerap racun lebih lambat daripada serangga yang rentan. Resistensi penetrasi terjadi ketika kutikula luar serangga menjadi hambatan yang dapat memperlambat penyerapan bahan kimia ke dalam tubuh mereka. Hal ini bisa melindungi serangga dari berbagai jenis insektisida. Resistensi penetrasi sering terjadi bersamaan dengan bentuk resistensi lainnya. Terjadinya resistensi penetrasi pada serangga dapat meningkatkan efek resistensi dengan mekanisme lainnya.

4) Resistensi perilaku

Serangga yang resisten dapat mendeteksi atau mengenali bahaya dan menghindari toksin. Mekanisme resistensi ini telah dilaporkan terjadi untuk beberapa kelas insektisida termasuk organoklorin, organofosfat, karbamat, dan piretroid. Serangga akan berhenti makan jika mereka menemukan insektisida tertentu, atau meninggalkan daerah penyemprotan. Sebagai contoh, serangga mungkin bergerak ke bagian bawah daun yang disemprotkan, bergerak lebih dalam di kanopi tanaman, atau terbang menjauh dari daerah sasaran. Hal ini membuat serangga tidak mati ketika dilakukan penerapan insektisida.

C. FAKTOR-FAKTOR YANG MENYEBABKAN TERJADINYA RESISTENSI INSEKTISIDA

Resistensi insektisida dipengaruhi oleh beberapa faktor, terutama penggunaan insektisida dalam waktu yang lama (sekitar 2–20 tahun) dan dosis yang tidak tepat. Faktor pendukung terjadinya resistensi adalah penggunaan insektisida yang sama atau sejenis secara terus-menerus, penggunaan bahan aktif atau formulasi yang mempunyai aktivitas yang sama, efek residual lama, dan biologi spesies vektor.

Penyemprotan residual memberi peluang lebih besar menciptakan generasi resisten dibandingkan cara aplikasi lain karena peluang kontak antara vektor dengan bahan aktif lebih besar. Faktor pendukung lainnya adalah penggunaan insektisida yang sama terhadap semua stadium pertumbuhan vektor (telur, larva, pupa, dan dewasa). Oleh karena itu, untuk mencegah dan mengurangi terjadinya percepatan resistensi, sebaiknya tidak menggunakan insektisida dari jenis dan atau golongan insektisida yang cara kerjanya sama untuk pengendalian stadium pradewasa dan dewasa.

Karakteristik resistensi insektisida diturunkan ke generasi berikutnya dan dalam kebanyakan kasus telah terbukti. Hal ini disebabkan oleh faktor resistensi yang melibatkan perubahan genetik (alel gen). Pada populasi nyamuk, resistensi dapat disebabkan oleh proses seleksi yang meningkatkan proporsi genotipe resisten dengan membunuh individu nyamuk dengan alel rentan normal. Resistensi populasi nyamuk lapangan hampir selalu mengandung beberapa heterogenitas, dan alel rentan terus menyusup dari daerah sekitarnya yang tidak terpapar insektisida. Mekanisme yang bertanggung jawab terhadap resistensi insektisida sangat kompleks dan mencakup perubahan perilaku dan atau fisiologis nyamuk untuk menjauhi insektisida, mencegah masuknya senyawa insektisida, serta perubahan sisi target atau biodegradasi oleh enzim detoksifikasi. Pada nyamuk, resistensi terutama dihubungkan dengan modifikasi sisi target dan ketahanan metabolik. Resistensi sisi target melibatkan kejadian mutasi yang menyebabkan perubahan sisi target insektisida dan resisten terhadap bahan kimia.

Faktor lain yang memicu terjadinya resistensi insektisida adalah penggunaan insektisida oleh masyarakat. Penggunaan pestisida rumah tangga di Indonesia mulai meningkat sejak tahun 1970-an dan selanjutnya menjadi bagian yang tak terpisahkan bagi kehidupan masyarakat perkotaan dan sebagian perdesaan. Berdasarkan data dari Komisi Pestisida, Departemen Pertanian, Indonesia jumlah pestisida rumah tangga dan jenis bahan aktif yang didaftarkan dan mendapatkan izin beredar mengalami peningkatan (Prasetyowati et al., 2016).

D. METODE DETEKSI RESISTENSI INSEKTISIDA

Pengujian resistensi insektisida dapat dilakukan menggunakan beberapa cara sebagai berikut.

1) Metode *susceptibility test*

Uji kerentanan vektor/*susceptibility test* adalah metode yang digunakan untuk mengetahui kerentanan vektor terhadap racun serangga yang akan atau sedang digunakan untuk pemberantasan vektor. Uji resistensi sesuai panduan WHO (*susceptibility test*) dilakukan dengan menggunakan *impregnated paper* untuk setiap insektisida yang akan diuji. Metode uji ini dapat dilakukan oleh petugas entomologi di tingkat provinsi dan kabupaten/kota karena relatif mudah dilakukan dan tidak membutuhkan biaya yang besar. *Susceptibility test* dilakukan untuk mengetahui data dasar dari status kerentanan vektor terhadap setiap jenis racun serangga (insektisida) yang akan digunakan. Selain itu, *susceptibility test* juga bertujuan untuk mengetahui perubahan-perubahan tingkat kerentanan vektor sebelum, selama, dan setelah penyemprotan insektisida dilakukan (WHO, 2022)

Status kerentanan nyamuk terhadap insektisida *malathion*, dari hasil *susceptibility test*, dapat ditentukan dengan klasifikasi: (a) *susceptible*/rentan apabila persentase kematian nyamuk 98–100%, (b) dibutuhkan uji lebih lanjut untuk memastikan resistensi apabila persentase kematian nyamuk <98%, (c) toleran atau perlu konfirmasi apabila persentase kematian nyamuk 90–97%, dan (d) resisten apabila persentase kematian nyamuk <90% (WHO, 1998). Konsentrasi insektisida yang digunakan untuk nyamuk dewasa pada *susceptibility test* memiliki perbedaan seperti terlihat pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1 Perbedaan Konsentrasi Insektisida untuk Nyamuk Dewasa pada *Susceptibility Test* (Paparan 1 Jam)

Golongan	Insektisida	Anopheles	Aedes aegypti	Culex quenequefasciatus
Organoklorin	DDT	4%	4% ^a	4% ^b
Organofosfat	<i>Fenitrothion</i>	1% ^c		1% ^d
	<i>Malathion</i>	5%	0,8%	5%
	<i>Pirimiphos-methyl</i>	0,05% ^e		
Karbamat	<i>Bendiocarb</i>	0,1%		
	<i>Propoxur</i>	0,1%	0,1%	0,1% ^c
Piretroid	<i>Alpha-cypermethrin</i>	0,05% ^e		
	<i>Bifenthrin</i>	0,2% ^e		
	<i>Cyfluthrin</i>	0,15%		
	<i>Deltamethrin</i>	0,05%		0,025%
	<i>Etofenprox</i>	0,5%		
	<i>Lambda-cyhalothrin</i>	0,05% ^f	0,03%	0,025%
	<i>Permethrin</i>	0,75%	0,25%	0,25% ^g

Keterangan: (a) Paparan ½ jam;
 (b) Paparan 4 jam;
 (c) Paparan 2 jam untuk *Anopheles sacharovi*;
 (d) Paparan 2 jam,
 (e) Tentatif;
 (f) 0,1% untuk *Anopheles sacharovi*; dan
 (g) Paparan 3 jam.

Sumber: WHO (2022)

2) Uji *microplate assay* (MPA) atau uji biokimia

Uji biokimia adalah uji resistensi nyamuk terhadap insektisida yang sangat esensial berdasarkan kuantifikasi enzim yang bertanggung jawab pada proses resistensi. Uji biokimia aktivitas enzim esterase pada serangga bertujuan untuk mengidentifikasi mekanisme resistensi serangga terhadap insektisida golongan organofosfat. Esterase merupakan salah satu kelompok besar enzim yang mengkatalisis reaksi hidrolisis dari senyawa alifatik, ester aromatik, ester kolin, dan organofosforus.

Salah satu substrat yang dapat dipecah oleh enzim esterase adalah senyawa organofosforus yang merupakan penyusun insektisida golongan organofosfat. Apabila dalam tubuh suatu serangga ada peningkatan aktivitas enzim esterase, enzim tersebut akan menghidrolisis atau memecah senyawa organofosforus yang masuk ke tubuh serangga menjadi senyawa yang tidak toksik lagi (detoksifikasi) sehingga serangga tidak akan mati walaupun terpapar insektisida golongan organofosfat (Balai Litbang P2B2 Banjarnegara, 2017). Adanya aktivitas enzim esterase dari hasil uji biokimia tersebut diukur dengan pembacaan *absorbance value* (AV) menggunakan alat ELISA Reader, dengan panjang gelombang 450 nm. Nilai AV < 0,7 sangat rentan; AV = 0,7–0,9 resisten sedang; dan AV > 0,9 resisten tinggi.

- 3) Metode biologi molekuler menggunakan *marker* DNA. Dalam perkembangan selanjutnya, telah ditemukan bahwa kejadian resistensi tanpa adanya peningkatan enzim biokimia ternyata telah terjadi. Hal tersebut telah mendorong para ahli untuk menemukan cara lain, yaitu menggunakan uji molekuler. Uji tersebut mendeteksi resistensi sintetik piretroid pada *Ae. aegypti* dengan cara menemukan mutasi titik gen VGSC sebagai *target site* tempat kerja insektisida (resistensi target). Deteksi mutasi yang sering diteliti pada *Aedes aegypti* adalah Val1016Ile, yaitu perubahan kodon pengkode *valine* menjadi *isoleucine* (Sene et al., 2021).

E. UPAYA MEMINIMALKAN RESISTENSI INSEKTISIDA

Penggunaan insektisida masih menjadi salah satu metode yang digunakan untuk pengendalian vektor. Oleh karena itu, untuk mengurangi potensi terjadinya resistensi insektisida, dapat dilakukan upaya berikut:

- 1) melakukan rotasi/pergantian penggunaan insektisida yang berbeda cara kerjanya (idealnya hal ini dilakukan setiap dua tahun sekali);
- 2) pengendalian vektor dilakukan pada nyamuk dewasa dan larva secara bersamaan menggunakan insektisida dengan cara kerja berbeda, misalnya untuk nyamuk dewasa menggunakan organofosfat, sementara stadium larva menggunakan *insect growth regulator* (IGR);
- 3) penggunaan insektisida yang mempunyai cara kerja yang berbeda, serta hal ini dilakukan berbeda-beda pada masing-masing wilayah, misalnya wilayah X menggunakan piretroid, sedangkan wilayah Z menggunakan organofosfat.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Bab 7

METODE PENGENDALIAN VEKTOR PENYAKIT SECARA TERINTEGRASI

A. KONSEP PENGENDALIAN VEKTOR SECARA TERINTEGRASI

Kebijakan dan strategi pengendalian vektor yang dilakukan oleh World Health Organization (WHO) mengalami perubahan sejak pertengahan tahun 1950-an, ketika eradikasi penyakit tular vektor seperti malaria lebih banyak mengandalkan pada penggunaan insektisida. Berbagai isu terkait resistensi insektisida mendorong adanya perubahan strategi, hingga pada tahun 1997, World Health Assembly Resolution mengambil langkah-langkah untuk mengurangi ketergantungan pada insektisida. Strategi yang diambil, yakni cara mengendalikan penyakit yang ditularkan melalui vektor, melalui pendekatan pengendalian vektor secara terintegrasi atau terpadu. Hal ini juga dipengaruhi kenyataan di lapangan bahwa tidak ada satu pun metode pengendalian vektor, baik secara biologi, kimiawi, fisik, maupun genetik yang secara tunggal mampu untuk mengendalikan vektor penyakit. Selain itu, dukungan kebijakan dari pihak-pihak yang terkait serta keterlibatan masyarakat juga sangat penting dalam upaya pengendalian vektor. Oleh karena itu, diperlukan pengendalian vektor yang terintegrasi (WHO, 2012).

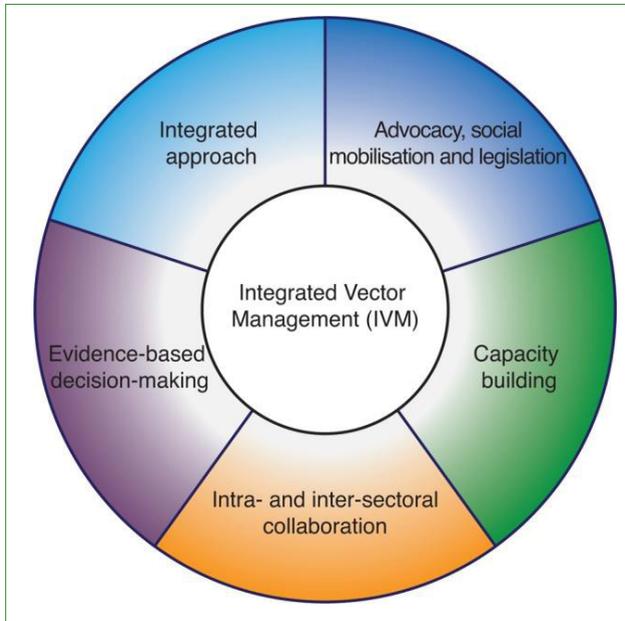
Pengendalian vektor secara terintegrasi atau *integrated vector management* (IVM) merupakan proses pengambilan keputusan yang rasional untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya dalam upaya pengendalian vektor. Hal ini membutuhkan pendekatan manajemen yang meningkatkan efektivitas, pembiayaan yang rasional, kesehatan ekologi, dan keberlanjutan intervensi pengendalian vektor berbasis bukti dengan alat dan sumber daya yang tersedia. Pendekatan terintegrasi sangat penting dalam keberhasilan mengendalikan penyakit yang ditularkan melalui vektor. Karakteristik IVM dijelaskan sebagai berikut (Ministry of Health and Population, 2020):

- 1) pemilihan metode pengendalian didasarkan pengetahuan tentang faktor-faktor yang memengaruhi biologi vektor, penularan, penyakit dan morbiditas di lokasi tertentu secara spesifik;
- 2) penggunaan berbagai intervensi berbasis bukti, dapat dilakukan kombinasi dan sinergisme beberapa metode pengendalian vektor;
- 3) kerja sama di dalam sektor kesehatan, di luar sektor kesehatan, dan dengan sektor publik/swasta lainnya;
- 4) keterlibatan dengan masyarakat lokal dan pemangku kepentingan; serta
- 5) kerangka peraturan dan legislatif kesehatan masyarakat, termasuk memasukkan perlindungan kesehatan dalam pembangunan.

B. ELEMEN KUNCI DARI INTEGRATED VECTOR MANAGEMENT (IVM)

IVM mempunyai lima elemen kunci yang saling terkait agar dapat mendukung penerapan program dengan baik (WHO, 2020b). Lima elemen kunci dalam IVM terlihat pada Gambar 7.1.

Secara lebih rinci, kelima elemen kunci dalam IVM dijelaskan dalam Tabel 7.1.



Sumber: WHO (2012)

Gambar 7.1 Lima Elemen Kunci dalam IVM

Tabel 7.1 Rincian Kelima Elemen dalam *Integrated Vector Management*

No	Elemen	Deskripsi
1.	Advokasi, mobilisasi sosial, dan legislasi	<ol style="list-style-type: none"> 1) Mempromosikan dan mengintegrasikan prinsip IVM pada semua pihak yang relevan, termasuk organisasi-organisasi yang berkepentingan dan masyarakat. 2) Menguatkan peraturan dan kontrol legislatif untuk kesehatan masyarakat serta memberdayakan masyarakat.
2.	Kolaborasi antar sektor kesehatan dan sektor lainnya (kolaborasi lintas sektor)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Peningkatan kerja sama lintas sektor yang berperan dalam pengendalian vektor, baik sektor pemerintah, swasta, maupun masyarakat. 2) Menguatkan komunikasi antara pengambil kebijakan, ahli pengendalian vektor, dan mitra lainnya.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Elemen	Deskripsi
3.	Pendekatan yang terintegrasi	<p>Memastikan penggunaan sumber daya secara optimal untuk pengendalian vektor, dengan memadukan antara pengendalian non-kimiawi (fisik, biologis, dan lingkungan) dan pengendalian kimiawi seperti insektisida. Sebagai contoh:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Penyemprotan IRS dalam ruangan di area berisiko tinggi dan dalam situasi epidemi berdasarkan perilaku vektor dan penerimaan masyarakat serta status resistensi insektisida pada vektor. 2) Penggunaan kelambu berinsektisida/jaring insektisida tahan lama (ITN/LLIN) dan metode perlindungan pribadi lainnya. 3) Pengelolaan lingkungan termasuk perbaikan perumahan dan sanitasi jika memungkinkan. Daerah memiliki pengalaman yang luas dalam pekerjaan pengelolaan lingkungan, tetapi pengalaman tersebut perlu dianalisis untuk menciptakan basis bukti ilmiah. 4) Pengendalian hayati seperti penggunaan ikan larva dan biolarvasida. Ikan telah banyak digunakan dalam program pengendalian malaria, seperti di India, atau penggunaan <i>mesocyclops</i> yang tersedia secara lokal dalam pengendalian vektor demam berdarah di Myanmar. 5) Penerapan larvasida di daerah perkotaan, pinggiran kota, dan proyek.
4	Pengambilan keputusan yang berdasarkan bukti (<i>evidence-based decision making</i>)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Menerapkan strategi dan intervensi pada ekologi lokal serta memandunya dengan penyediaan panduan pelaksanaan dan monitoring evaluasi. 2) Menerapkan strategi didasarkan pada bukti-bukti penelitian yang valid dan relevan.
5	<i>Capacity-building</i>	Menyediakan infrastruktur yang penting, pembiayaan, dan sumber daya manusia pada level nasional dan lokal untuk melaksanakan IVM sesuai dengan analisis situasi masing-masing daerah.

Sumber: Diolah dari WHO (2012)

C. PERENCANAAN DAN PENERAPAN PENGENDALIAN VEKTOR

Perencanaan IVM dimulai dari menganalisis situasi di lapangan dalam hal kebijakan, strategi, dan epidemiologi penyakit. Setelah itu, buat rencana IVM melalui langkah-langkah kerangka logis dengan menjawab pertanyaan seperti pada Tabel 7.2.

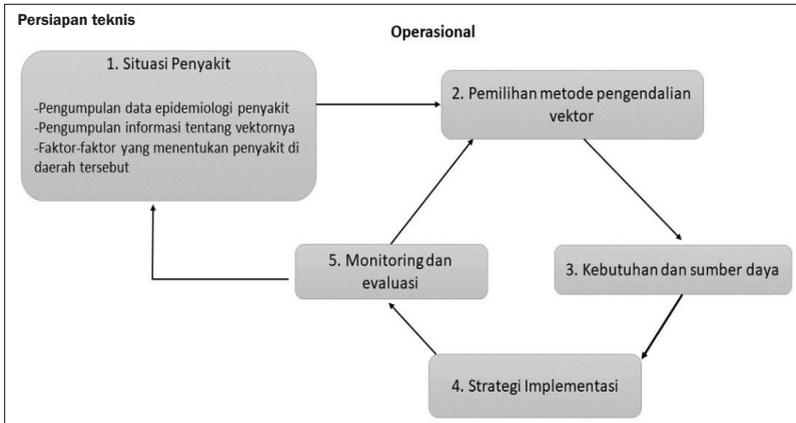
Tabel 7.2 Pertanyaan Penting dalam Perencanaan IVM

Target/Sasaran	Pertanyaan Penting
	Penyakit dan Vektor Apa yang Menjadi Target Utama?
Pemetaan/ analisis situasi	<ol style="list-style-type: none"> 1) Daerah mana yang berisiko tinggi terjadi penyakit ini? 2) Area mana saja yang terjadi beberapa penyakit tular vektor dan apa saja penyakitnya? 3) Karakteristik populasi masyarakat seperti apa yang paling berisiko terkena penyakit ini?
Metode	<ol style="list-style-type: none"> 1) Bagaimana risiko penyakit dapat dikurangi? 2) Pengendalian vektor penyakit apa saja yang memungkinkan dapat diterapkan? 3) Apakah program/intervensi yang berjalan sudah optimal?
Partisipasi	<ol style="list-style-type: none"> 1) Kontribusi apa yang dilakukan oleh pelayanan kesehatan setempat dan juga pihak lainnya? 2) Apakah masyarakat setempat juga berpartisipasi?
Pembiayaan	<ol style="list-style-type: none"> 1) Bagaimana pendanaan dan sumber dana yang ada digunakan? 2) Siapa yang akan mendanai keterlibatan masyarakat untuk mendukung penerapakan program pengendalian vektor?

Sumber: Diolah dari WHO (2012)

IVM harus melibatkan siklus, dimulai dari analisis situasi, termasuk pemahaman tentang vektor, penularan penyakit, alat pengendalian vektor, perencanaan, desain, implementasi, pemantauan, dan evaluasi (Gambar 7.2).

Informasi yang lengkap tentang situasi penyakit, termasuk penilaian epidemiologis dan vektor, identifikasi determinan lokal



Sumber: Diolah dari WHO (2020)

Gambar 7.2 Langkah-Langkah Penerapan IVM

penyakit, dan stratifikasi area yang berisiko sangat penting untuk memastikan bahwa program tersebut sesuai dengan situasi lokal. Intervensi pengendalian vektor harus dipilih berdasarkan informasi ini, pengetahuan tentang keefektifitasan metode pengendalian vektor dan pertimbangan lain, seperti resistensi insektisida dan efektivitas biaya. Strategi implementasi harus direncanakan serta kebutuhan dan sumber daya. Program harus dipantau dan dievaluasi untuk menentukan pengaruhnya terhadap penyakit untuk perbaikan program dan dampak pada penyakit perlu dinilai kembali selanjutnya (Ng'ang'a et al., 2021).

D. EMPAT PILAR PENTING PENERAPAN INTEGRATED VECTOR MANAGEMENT (IVM)

Empat bidang utama (pilar) untuk mencapai pengendalian vektor yang diadaptasi secara lokal dan berkelanjutan, yang efektif diselaraskan dengan pengelolaan vektor terpadu, dan meliputi beberapa hal, seperti

- 1) penguatan aksi dan kerja sama antar dan intrasektoral;
- 2) pelibatan dan penggerakkan masyarakat;

Buku ini tidak diperjualbelikan.

- 3) peningkatan surveilans vektor dan pemantauan serta evaluasi intervensi; serta
- 4) peningkatan dan pengintegrasian sarana serta pendekatan (Sene et al., 2021).

Secara rinci penjelasan masing-masing pilar sebagai berikut.

- 1) Penguatan aksi dan kerja sama antar dan intrasektoral
Pengurangan beban penyakit melalui pengendalian vektor merupakan tanggung jawab seluruh anggota masyarakat. Koordinasi yang efektif dari kegiatan pengendalian vektor diperlukan antara sektor kesehatan dan non-kesehatan yang akan memaksimalkan efisiensi dan memiliki dampak lebih besar daripada kegiatan yang terisolasi dan tidak terkoordinasi. Pemangku kepentingan utama harus dikumpulkan ke dalam gugus tugas/komite pengarah yang tugasnya untuk mengawasi, mengoordinasikan, dan memperkuat program pengendalian vektor. Keanggotaan juga harus mencakup otoritas lokal dan masyarakat serta pemangku kepentingan dari konstituen lain, seperti mitra pembangunan dan swasta sektor. Komite pendukung, kelompok kerja, atau jaringan harus dirumuskan sesuai kebutuhan yang diidentifikasi oleh anggota inti. Peran dan tanggung jawab semua anggota harus didefinisikan dengan jelas untuk membedakan pembuat keputusan dari mitra dengan persaingan kepentingan yang dikelola secara proaktif.
- 2) Pelibatan dan penggerakkan masyarakat
Masyarakat berperan besar dan menjadi kunci keberhasilan dan keberlanjutan pengendalian vektor. Koordinasi dengan banyak pemangku kepentingan juga diperlukan. Pengendalian vektor sangat tergantung pada pemanfaatan pengetahuan lokal dan keterampilan dalam masyarakat. Keterlibatan dan mobilisasi masyarakat membutuhkan kerja sama dengan penduduk setempat untuk meningkatkan pengendalian vektor dan membangun ketahanan terhadap wabah penyakit di masa mendatang. Pemberdayaan masyarakat memang sangat penting dilakukan untuk mendukung keberlanjutan pelaksanaan program-program pengendalian vektor.

- 3) Meningkatkan surveilans vektor dan pemantauan serta evaluasi intervensi
Kapasitas vektor untuk menularkan patogen dan kerentanannya terhadap tindakan pengendalian vektor dapat bervariasi menurut spesies, lokasi, dan waktu, bergantung pada faktor lingkungan setempat. Oleh karena itu, pengendalian vektor harus diterapkan berdasarkan data lokal terkini yang dihasilkan dengan metode yang tepat. Surveilans vektor harus dilakukan secara rutin di lokasi yang representatif di daerah di mana penyakit yang ditularkan melalui vektor bersifat endemik. Selain itu, surveilans vektor juga harus dilakukan di daerah dengan transmisi rendah atau tidak ada transmisi, tetapi dapat menerima transmisi patogen. Pemantauan cakupan dan kualitas implementasi intervensi pengendalian vektor sangat penting untuk menjaga efektivitas pengendalian vektor.
- 4) Meningkatkan dan mengintegrasikan sarana serta pendekatan Tindakan kunci untuk memaksimalkan dampak kesehatan masyarakat dari pengendalian vektor adalah penyebaran dan perluasan intervensi yang sesuai dengan konteks epidemiologi dan entomologi. Intervensi pengendalian vektor yang terbukti dan hemat biaya mencakup kelambu berinsektisida yang tahan lama, penyemprotan residu dalam ruangan, semprotan ruang (IRS), larvasida, dan pengelolaan lingkungan untuk vektor target tertentu.

E. PENELITIAN TERKINI TERKAIT PENERAPAN IVM PADA PENGENDALIAN VEKTOR

Implementasi IVM telah diterapkan untuk beberapa vektor penyakit, misalnya pada nyamuk *Aedes* sp. Pada reviu terkini, ada beberapa tantangan dalam penerapan IVM, sebagai berikut (WHO, 2020).

- 1) Kurangnya komitmen dan kepemimpinan dari pemerintah untuk menjaga kesiapsiagaan dan memberikan tanggapan cepat terhadap penyakit yang ditularkan melalui nyamuk *Aedes*.

- 2) Implementasi program yang tidak efektif karena kesulitan dalam memunculkan keterlibatan masyarakat yang berkelanjutan dan tantangan dalam menerapkan pendekatan *top-down* yang besar.
- 3) Basis bukti yang lemah untuk efektivitas kesehatan masyarakat dari strategi pengendalian vektor karena sejumlah kecil percobaan kuat yang telah dilakukan dan kesulitan dalam mengukur dampak intervensi terhadap infeksi dan penyakit pada manusia.
- 4) Pendanaan yang tidak mencukupi, sumber daya manusia, dan pembangunan kapasitas yang terbatas di negara-negara berpenghasilan rendah yang menghambat pengembangan alat dan strategi pengendalian yang inovatif.
- 5) Tidak adanya rencana global dan terkoordinasi untuk memantau dan mengelola resistensi insektisida dalam memandu pengambilan keputusan pengendalian vektor.
- 6) Meningkatnya keengganan warga terhadap strategi yang hanya didasarkan pada insektisida karena potensi dampaknya terhadap lingkungan dan cakupan aplikasi yang tidak memadai.

Beberapa referensi menyebutkan penerapan strategi IVM ini dinilai lebih efektif dibandingkan metode tunggal saja. Keberhasilan penerapan IVM pada beberapa referensi menyebutkan kunci keberhasilan, yakni keterlibatan otoritas lokal dan masyarakat sejak awal prosesnya. Selain itu, peran organisasi non-pemerintah, seperti masyarakat sipil, sektor swasta, masyarakat, tokoh agama, dan lembaga lainnya juga memainkan peran yang penting (Sumarmo, 1987; Stone et al., 2014; dan Wahid et al., 2019).

F. TANTANGAN DAN KESENJANGAN PENGETAHUAN (*GAP OF KNOWLEDGE*) PADA IMPLEMENTASI IVM

1. Kurangnya Kebijakan pada IVM

Pengendalian vektor merupakan pendekatan strategis utama dalam pengendalian dan pencegahan penyakit tular vektor di sebagian besar

negara. Namun, belum ada kebijakan menyeluruh yang diterapkan dengan baik tentang pengendalian vektor. Kebijakan yang relevan terpecah-pecah dan terkesan tidak saling bekerja sama di berbagai program dan lembaga. Akibatnya, sangat sedikit upaya lintas sektor dan akuntabilitas di antara pemangku kepentingan utama sehingga sulit untuk penerapan IVM. Selain itu, dampak kebijakan bidang lain, misalnya bidang lingkungan dan pertanian sering tidak dikaitkan dengan sektor kesehatan sehingga belum ada upaya mengintegrasikan pengendalian vektor dengan praktik dan kebijakan di bidang lainnya.

2. Kurangnya Sistem Manajemen yang Efisien untuk Pengendalian Vektor

Tantangan berat dalam penerapan metode IVM tidak terletak pada kelemahan teknis, melainkan pada sistem manajemen yang baik. IVM membutuhkan perubahan struktur manajemen secara vertikal yang hanya mengandalkan satu atau beberapa metode pengendalian vektor. Kurangnya pengetahuan dan pengalaman masalah manajemen di IVM merupakan tantangan utama. Tanggung jawab harus dialokasikan untuk berbagai fungsi penting ke tingkat optimal dalam keseluruhan sistem (misalnya tingkat nasional, provinsi, kabupaten, dan masyarakat). Secara paralel, pengambilan keputusan atas sumber daya yang dibutuhkan untuk membiayai operasi juga harus dialokasikan pada tingkat yang optimal. Pemahaman tentang bagaimana tujuan kesehatan dan lingkungan dapat dimasukkan ke dalam desain manajemen yang baik harus diperhatikan.

3. Bukti Meyakinkan yang Tidak Memadai tentang IVM

Tantangan yang juga penting, yakni masih belum memadainya bukti analisis biaya-manfaat dari IVM dibanding dengan intervensi tunggal lainnya. Banyak negara belum merasakan manfaat penerapan IVM dan hanya ada sedikit contoh bukti suksesnya IVM yang dipublikasi. Sering ada kesalahpahaman bahwa IVM merupakan integrasi alat/

metode intervensi pengendalian vektor. Hal ini disebabkan kurangnya pedoman nasional untuk penggunaan universal dan indikator yang jelas dari implementasi IVM atau kurangnya bukti yang meyakinkan dari kementerian untuk mengadopsi IVM. Ada kebutuhan untuk merancang model analisis biaya-manfaat yang komprehensif untuk mengevaluasi IVM terhadap pendekatan metode pengendalian vektor lainnya dan membuktikan IVM lebih efektif sehingga dapat menjadi dasar diterapkannya metode ini dengan proses pengambilan keputusan berbasis bukti.

4. Pengaturan Kelembagaan yang Lemah untuk Implementasi IVM

Tantangan lainnya, yakni dalam pengaturan dalam implementasi IVM. Sebagian besar program IVM diprakarsai dan dilaksanakan oleh program pengendalian malaria nasional. Program pengendalian malaria mengklaim kepemilikan kegiatan pengendalian vektor, bahkan ketika ada struktur dan entitas lain. Di Kenya, misalnya, kegiatan IVM, termasuk penyusunan pedoman kebijakan IVM, dipelopori oleh Divisi Pengendalian Malaria meskipun ada Divisi Penyakit Tropis yang ditularkan vektor dan penyakit terabaikan yang memiliki laboratorium satelit dan staf yang tersebar dengan baik di negara tersebut. Hal ini sebagian dapat dijelaskan oleh fakta bahwa malaria didanai dengan baik dibandingkan penyakit yang ditularkan melalui vektor lainnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan revitalisasi unit/divisi pengendalian vektor di Kementerian Kesehatan untuk mengambil alih kegiatan IVM.

G. INTERAKSI YANG TIDAK EFEKTIF ANTARA PENELITI DAN PELAKSANA PROGRAM

Informasi tentang kemajuan negara dengan pengendalian vektor dan proses IVM umumnya ada di kementerian, dalam bentuk laporan, dokumen kebijakan, dan rencana operasi tahunan yang tidak tersedia di domain publik. Satu-satunya informasi yang tersedia terutama bersumber dari artikel penelitian di bidang tertentu dan dengan

mempertimbangkan interaksi atau dialog yang minimal antara peneliti dan pelaksana program. Informasi tersebut berakhir di jurnal ilmiah dan tidak diadopsi oleh kementerian untuk implementasi dalam pengendalian vektor di tingkat nasional. Perlu upaya diseminasi penelitian yang lebih efektif dan adanya kolaborasi serta komunikasi yang baik antara para peneliti dengan pihak pemegang kebijakan. Upaya yang dapat dilakukan, seperti riset bersama ataupun seminar/konferensi yang melibatkan banyak pihak dan advokasi dari hasil-hasil riset pada pihak pembuat kebijakan (Ng'ang'a et al., 2021).

H. DUKUNGAN KEUANGAN YANG TIDAK MEMADAI UNTUK PENGENDALIAN VEKTOR

Kurangnya kebijakan komprehensif tentang pengendalian vektor membuat sulitnya penempatan yang tepat dan mobilisasi sumber daya lintas sektoral untuk pengendalian vektor di dalam Kementerian Kesehatan. Selain malaria, hampir tidak ada kebijakan atau upaya pengendalian vektor terkait penyakit yang ditularkan melalui vektor lainnya. Hal tersebut juga diperparah dengan kurangnya kapasitas nasional untuk evaluasi entomologis dan eko-epidemiologis dari penyakit tular vektor lain. Hal ini membuat sulitnya meyakinkan para pembuat keputusan untuk mengalokasikan sumber daya pada penyakit tular vektor yang dianggap kurang prioritas. Selain itu, meskipun terdapat keberhasilan yang signifikan dalam memobilisasi pendanaan eksternal (donor), seperti dari banyak lembaga donor luar (misalnya Global Fund dan Tahiya Foundation) untuk pengendalian vektor malaria, dana tersebut biasanya difokuskan pada intervensi tunggal dan tidak memberikan fleksibilitas bagi program nasional untuk memadukan intervensi utama dan tambahan yang sesuai sehingga akan memaksimalkan dampak.



Bab

8

PERKEMBANGAN TERKINI METODE PENGENDALIAN VEKTOR

Kemajuan teknologi dan perkembangan dalam pengendalian vektor membuat beberapa terobosan metode baru untuk mengendalikan vektor. Berbagai penelitian dilakukan di bidang ini untuk mencari metode-metode yang lebih efektif dalam pengendalian vektor dan menurunkan kasus penyakit. Dengan makin sering terdeteksinya kasus resistensi insektisida, dibutuhkan metode-metode baru yang tidak hanya bergantung pada pengendalian vektor secara kimiawi menggunakan insektisida.

A. TEKNIK SERANGGA MANDUL

Pada prinsipnya, strategi dengan teknik serangga mandul (TSM) adalah pelepasan serangga jantan mandul yang sudah terpapar radiasi ke dalam populasi, serta integrasi gen letal dominan di bawah pengaruh promotor spesifik pada serangga jantan pradewasa. Teknologi *genetic modified mosquito* (GMM) ini dapat diterapkan dan disesuaikan dengan metode pengendalian vektor lainnya. Selain itu, teknik ini dapat diintegrasikan dalam program pengendalian vektor terpadu. Teknik serangga mandul telah digunakan secara luas dan berhasil mengendalikan beberapa jenis spesies hama, di antaranya eradikasi lalat *screwworm*, *Cochliomyia hominivorax* di Amerika Serikat, Meksiko,

Buku ini tidak diperjualbelikan.

dan seluruh Amerika Tengah. Pengendalian lalat buah mediterania *Ceratitis capitata* dan eradikasi lalat tsetse (*Glossina austeni*) di Pulau Zanzibar, Afrika Selatan, saat ini telah berhasil dengan menggunakan TSM untuk mengendalikan lalat buah Mediterania (*Medfly*) di lembah Hex River. Raymond Bushland dan Edward Knipling pada awalnya mengembangkan TSM untuk memberantas cacing ulir (*screwworms*) yang memangsa hewan berdarah panas, terutama sapi.

Teknik serangga mandul pada vektor nyamuk memiliki tahapan yang terdiri dari produksi massal, pemisahan jenis kelamin, sterilisasi, dan pelepasan nyamuk jantan mandul. Kesuksesan metode TSM sangat bergantung pada kemampuan nyamuk jantan yang dilepaskan untuk dapat secara efektif kawin dengan nyamuk betina di alam. Sifat kompetitif nyamuk jantan steril untuk mengawini nyamuk betina di alam menjadi salah satu permasalahan krusial dalam TSM. Banyak faktor yang memengaruhi perilaku nyamuk steril sehingga sulit bersaing dengan nyamuk jantan liar. Faktor-faktor lain, seperti lokasi perkawinan, kematangan seksual, perilaku kawin, dan dampak rentang waktu kolonisasi (di laboratorium) secara umum berpengaruh terhadap perilaku nyamuk steril.

Prinsip dasar TSM sangat sederhana, yaitu membunuh serangga dengan serangga itu sendiri (*autocidal technique*). Teknik ini meliputi iradiasi koloni serangga jantan di laboratorium dengan sinar γ , n, atau x, yang kemudian secara periodik dilepas di habitat vektor alami sehingga tingkat keberhasilan perkawinan antara serangga jantan mandul dan fertil menjadi makin besar dari generasi pertama ke generasi berikutnya. Hal tersebut akan berakibat makin menurunnya persentase fertilitas populasi serangga di habitatnya dan secara teoritis pada generasi ke-4, persentase fertilitas populasi mencapai titik terendah, menjadi 0% (generasi ke-5 nihil). Untuk mendapatkan vektor mandul, radiasi dapat dilakukan pada stadium telur, larva, pupa, atau dewasa. Namun, hasil optimum dapat diperoleh apabila radiasi dilakukan pada stadium pupa. Stadium pupa merupakan stadium perkembangan di mana terjadi transformasi atau perkembangan organ muda menjadi organ dewasa. Pada stadium ini umumnya

spermatogenesis dan oogenesis sedang berlangsung. Radiasi secara umum dapat menimbulkan berbagai akibat terhadap nyamuk, baik kelainan morfologis maupun kerusakan genetik. Penghambatan pembentukan sperma pada nyamuk akan menghasilkan nyamuk jantan steril yang tetap berperilaku normal saat kawin dan dapat memicu sterilitas nyamuk betina seumur hidupnya (Powell, 2022).

Penentuan kisaran dosis optimal radiasi bergantung pada tingkat kemandulan yang diberikan serta sifat kompetitif serangga jantan yang diradiasi. Paparan radiasi dengan dosis rendah dapat berakibat tingkat kemandulan yang rendah, sedangkan pada dosis tinggi dapat mengurangi kemampuan serangga jantan untuk berkompetisi dengan serangga jantan liar di alam dan dengan demikian akan mengurangi dampak dari pelepasan seperti yang diharapkan. Kemandulan disebabkan oleh mutasi letal dominan pada sperma yang dilepaskan oleh serangga yang teradiasi. Mutasi letal dominan merupakan penyebab kematian zigot yang telah berkembang (dibuahi), terlepas dari kontribusi genetik gamet lain.

Serangga jantan mandul diharapkan mengawini dan mentransfer sperma disertai cairan penghantar dengan kuantitas dan kualitas yang cukup sehingga “meyakinkan” serangga betina untuk melaksanakan perkawinan. Ini menunjukkan bahwa definisi serangga jantan mandul sangat spesifik dan tidak termasuk serangga jantan yang aspermik, atau tidak menghasilkan sperma yang aktif, ataupun tidak memperlihatkan respons perilaku normal bagi serangga betina. Selain itu, serangga jantan yang telah dimandulkan harus berkeyakinan jika “dirinya” tidak mandul. Sifat mandul diharapkan akan efektif ke generasi berikutnya ketika sperma jantan digunakan oleh betina liar untuk membuahi telurnya.

Persyaratan utama bagi kesuksesan aplikasi TSM adalah kemampuan untuk melepaskan serangga ke populasi di alam. Pada area yang luas, jumlah serangga yang dilepaskan cukup banyak terutama serangga jantan dengan sifat seksual aktif dan secara genetik telah steril. Pelepasan nyamuk betina steril dapat mengurangi efisiensi, efektivitas, dan berisiko menularkan penyakit sehingga proses

pemisahan serangga jantan dan betina sudah harus dilakukan dengan selektif sebelum serangga dilepaskan. Teknologi yang digunakan untuk memelihara, mensterilkan, dan mendistribusikan serangga jantan dapat berdampak negatif pada kondisi fisik (*fitness*) nyamuk sehingga diperlukan serangga dalam jumlah besar untuk dilepaskan. Meskipun telah banyak penelitian mengenai aplikasi nyamuk jantan mandul, masih diperlukan kajian dan studi yang lebih ekstensif seperti musim kawin, perilaku kawin, jumlah minimal nyamuk yang dilepaskan, proses kolonisasi, dan dampaknya terhadap ekosistem. Strategi ini telah terbukti mampu menekan populasi nyamuk, tetapi membutuhkan pelepasan sejumlah besar nyamuk transgenik secara terus-menerus selama beberapa bulan. Studi yang mencoba melepaskan 5.000 nyamuk jantan steril dominan hasil rekayasa genetika dilepaskan di lokasi yang sama. Terdapat kemungkinan 90% bahwa perkiraan jumlah nyamuk yang dilepaskan akan turun menjadi <1 dalam 10 hari. Dalam waktu 12 hari, terdapat kemungkinan 99% tidak ditemukan nyamuk pada jarak lebih dari 150 meter dari lokasi pelepasan (Ickowicz et al., 2021).

Beberapa keterbatasan TSM adalah sebagai berikut (Goldstein et al., 2019).

- 1) Penggunaan insektisida kadang kala diperlukan untuk mengurangi populasi vektor sebelum penerapan teknik serangga mandul.
- 2) Pemisahan jenis kelamin kadang kala sulit.
- 3) Radiasi, transportasi, dan pelepasan hasil dari teknik ini dapat membuat serangga jantan mengalami penurunan dalam kemampuan kawinnya.
- 4) Teknik ini dapat diterapkan secara spesifik, misalnya harus diterapkan secara terpisah berbeda-beda pada enam spesies lalat tsetse.
- 5) Pemeliharaan secara massal dan iradiasi membutuhkan proses yang tepat. Kegagalan dapat terjadi ketika secara tidak terduga serangga jantan yang subur dilepaskan.

- 6) Penerapan teknik ini pada area yang lebih luas akan lebih efektif karena migrasi serangga liar dari luar daerah dapat menciptakan masalah.
- 7) Biaya penerapan metode ini cukup mahal sehingga dapat menjadi hambatan.

B. PENGENDALIAN BIOLOGIS DENGAN BAKTERI *WOLBACHIA*

Salah satu upaya pengendalian vektor nyamuk *Aedes* sp. adalah pengendalian secara biologis menggunakan *Wolbachia*. *Wolbachia* merupakan suatu genus bakteri gram negatif intraseluler yang mampu hidup di dalam tubuh nyamuk *Aedes* sp. Bakteri *Wolbachia* mampu mengintervensi masa hidup nyamuk, mengganggu sistem reproduksi nyamuk, serta mampu menghambat replikasi virus dengue di dalam tubuh nyamuk. *Wolbachia* merupakan bakteri endosimbiotik yang secara alami menginfeksi sekitar 40% spesies serangga dan menginduksi fenotip reproduksi pada nyamuk yang dikenal sebagai ketidakcocokan sitoplasma (*cytoplasmic incompatibility/CI*) (Yen & Failloux, 2020).

Bakteri *Wolbachia* merupakan intraseluler obligat, hidup di sitoplasma sel inang dan bergantung pada sumber sel inang untuk replikasinya. Bakteri ini sangat umum muncul secara alami pada 60% spesies serangga, termasuk beberapa nyamuk, lalat buah, ngengat, capung, dan kupu-kupu. *Wolbachia* pertama kali ditemukan di nyamuk *Culex pipiens* dan juga ada pada populasi berbagai jenis nyamuk liar. Menarik untuk diketahui bahwa *Wolbachia* sering terdeteksi di beberapa vektor arbovirus umum, termasuk group *Culex pipiens*, seperti *Cx. Quinquefasciatus* dan spesies *Aedes*, termasuk *Aedes albopictus*, tapi tidak ada pada *Aedes aegypti*. Adanya *Wolbachia* pada beberapa spesies nyamuk dapat terhambat oleh *microbiome* asli dari nyamuk dan mungkin sebagian menjelaskan mengapa tidak adanya *Wolbachia* pada beberapa spesies nyamuk di alam (Correa & Ballard, 2016).

Oleh karena itu, penerapan bakteri *Wolbachia* untuk pengendalian nyamuk *Aedes aegypti* dilakukan dengan menginfeksi bakteri tersebut ke nyamuk. Ketika nyamuk *Aedes aegypti* membawa *Wolbachia*, bakteri tersebut bersaing dengan virus, seperti demam berdarah, *zika*, cikungunya, dan demam kuning. Ini membuat virus sulit bereproduksi di dalam nyamuk. Nyamuk tersebut menjadi tidak kompeten untuk menularkan agen penyakit sehingga angka kasus dapat menurun. Metode ini tidak menekan populasi nyamuk atau melibatkan modifikasi genetika karena materi genetik nyamuk tidak diubah (Dorigatti, et al, 2018).

Penelitian bakteri *Wolbachia* sebenarnya sudah berlangsung sejak 1920-an. Namun, transfer bakteri ke nyamuk *Aedes aegypti* baru berhasil pada tahun 2008. Metode yang dilakukan yaitu dengan menyuntikkan *Wolbachia* pada telur nyamuk. Nyamuk betina yang mengandung *Wolbachia* akan menurunkan ke generasi selanjutnya, sedangkan nyamuk jantan menjadi mandul. Nyamuk pembawa *Wolbachia* bukan nyamuk transgenik karena tak ada manipulasi genetik. *Wolbachia* aman bagi manusia karena hanya bisa bertahan pada sel serangga hidup. Ukurannya pun lebih besar dari probosisalat—penghisap darah pada nyamuk—sehingga tidak dapat berpindah ke manusia (Ogunlade et al., 2021).

Wolbachia aman untuk manusia dan lingkungan. Analisis risiko menunjukkan bahwa pelepasan nyamuk yang terinfeksi *Wolbachia* menimbulkan risiko yang dapat diabaikan bagi manusia dan lingkungan. *Wolbachia* hidup di dalam sel serangga dan diturunkan dari satu generasi ke generasi berikutnya melalui telur serangga. Rute transmisi utama *Wolbachia* adalah penularan secara vertikal melalui sitoplasma garis betina, meskipun transmisi horizontal antara spesies serangga juga berkontribusi terhadap prevalensi *Wolbachia*. Fenotipe ini menghasilkan generasi keturunan yang tidak viabel (mati) ketika serangga betina yang tidak terinfeksi *Wolbachia* kawin dengan serangga jantan yang terinfeksi. Namun, serangga betina yang terinfeksi *Wolbachia* akan menghasilkan keturunan yang hidup ketika mereka kawin dengan baik serangga jantan yang terinfeksi maupun

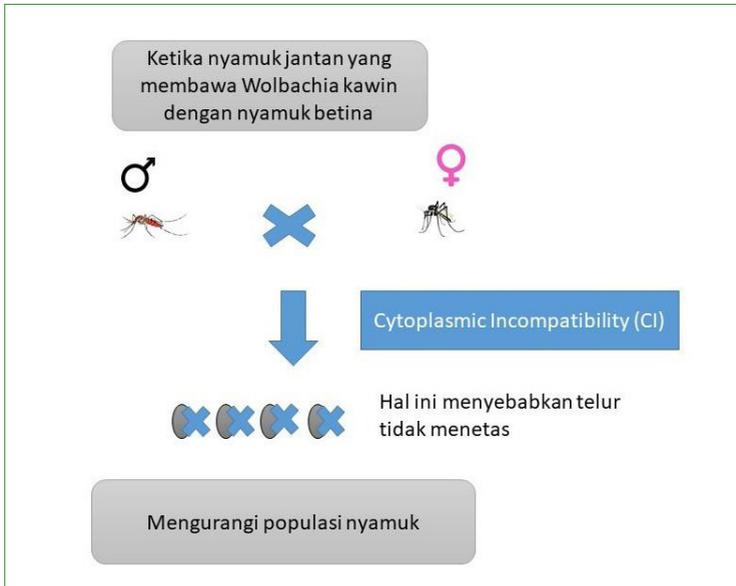
yang tidak terinfeksi (Dorigati et al., 2018). Bakteri *Wolbachia* dapat memanipulasi reproduksinya, yakni dengan cara sebagai berikut (Niang et al., 2018).

- 1) Feminisasi, yaitu cara yang dilakukan dengan mengubah genetik jantan menjadi betina. Serangga jantan yang terinfeksi *Wolbachia* adalah “jalan buntu” untuk pewarisan *Wolbachia* karena mereka tidak menurunkan infeksi *Wolbachia* ke keturunan mereka. Dengan demikian, mengubah jantan yang terinfeksi menjadi betina akan meningkatkan potensi *Wolbachia* untuk ditransmisikan ke generasi berikutnya. Fenomena ini pertama kali dijelaskan dalam isopoda, seperti *Armadillidium vulgare* dan kemudian teridentifikasi juga baru-baru ini pada serangga.
- 2) Partenogenesis.
- 3) Mematikan serangga jantan yang terinfeksi *Wolbachia*.
- 4) Ketidakcocokan sitoplasma (*cytoplasmic incompatibility*).

Serangga jantan yang terinfeksi ketika kawin dengan serangga betina dapat menghasilkan embrio yang cacat atau mati (Zabalou et al., 2004). Seperti penjelasan pada Gambar 8.1.

Penerapan *Wolbachia* sebagai pengendalian vektor juga memiliki efek negatif, yaitu menghambat proliferasi sel yang berpengaruh terhadap kemampuan hidup nyamuk sehingga *Wolbachia* dalam tubuh *Aedes* sp. mampu menurunkan harapan hidup nyamuk dan menurunkan kemampuan hisap nyamuk. Bakteri *Wolbachia* juga dapat diturunkan dari seekor nyamuk betina yang mengandung *Wolbachia*, sedangkan *Wolbachia* tidak dapat diturunkan dari nyamuk betina yang tidak terinfeksi *Wolbachia* walaupun telah kawin dengan nyamuk jantan yang mengandung *Wolbachia* karena pola pewarisannya adalah bersifat maternal.

Nyamuk *Aedes* sp. yang mengandung *Wolbachia* pertama kali ditekarkan di Daerah Istimewa Yogyakarta, tepatnya di Kabupaten Bantul. Kegiatan ini dipelopori oleh Eliminate Dengue Project (EDP) yang bekerja sama dengan Universitas Gadjah Mada. Nyamuk *Aedes*



Sumber: Diadaptasi dari Ross, P. (2018)

Gambar 8.1 Mekanisme *Cytoplasmic Incompatibility* pada Serangga dengan *Wolbachia*

sp. yang dilepas di lapangan adalah nyamuk yang sebelumnya telah dikembangkan di laboratorium. Nyamuk laboratorium tersebut diharapkan akan kawin dengan nyamuk *Aedes aegypti* lokal, dan otomatis menularkan *Wolbachia* pada nyamuk lokal. Anak-anak nyamuk dari perkawinan tersebut akan membawa bakteri *Wolbachia* di dalam tubuhnya dan dapat mengurangi transmisi virus dengue. Demikian seterusnya sehingga diharapkan seluruh nyamuk *Aedes* sp. di alam akan tertular bakteri *Wolbachia* (Buchori et al., 2022).

Penelitian terkini berupa *cluster-randomized trial* yang dilakukan di Yogyakarta. Uji efikasi *Wolbachia* tersebut dilakukan dengan membagi wilayah Yogyakarta menjadi 24 klaster, dengan 12 klaster mendapatkan intervensi *Wolbachia*, dan 12 klaster lainnya menjadi area pembanding. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa

penerapan nyamuk *Ae. aegypti* yang mengandung *Wolbachia* ke dalam populasi, efektif dalam mengurangi kejadian demam berdarah simtomatik dan mengakibatkan lebih sedikit rawat inap karena demam berdarah di antara para responden penelitian (Utarini et al., 2021).

C. SPATIAL REPELLENT/REPELEN SPASIAL (SR)

Salah satu metode pengendalian vektor yang bisa dilakukan adalah dengan repelen (*topical repellent*). Centers for Disease Control and Prevention (CDC) menganjurkan agar masyarakat menggunakan repelen yang mengandung *N,N-Diethyl-meta-toluamide*, juga disebut dietiltoluamida/*diethyltoluamide* (DEET) atau bahan aktif lain yang disetujui oleh The Environmental Protection Agency, selain juga menggunakan pakaian panjang yang menutupi kulit. Sejarah repelen ini dimulai dari orang-orang Yunani Kuno yang membakar sejenis tanaman tertentu untuk mengusir serangga seperti lalat. Ekstrak alami seperti *citronella* telah digunakan dalam upaya untuk mencegah gigitan nyamuk. DEET merupakan repelen sintesis yang efektif dan umum digunakan saat ini. *Topical repellent* biasanya digunakan langsung ke kulit atau pakaian dan memberikan penghalang permukaan pada serangga yang menggigit untuk memakan darah, seperti nyamuk dan kutu. Prinsip *topical repelen*, yakni ketika serangga datang ke permukaan yang diberikan repelen, serangga tersebut tidak menyukai rasa atau baunya sehingga akan menjauh dari permukaan tersebut.

Salah satu jenis repelen, yakni repelen spasial, merupakan jenis produk yang dirancang untuk mengusir serangga dan hama lainnya dari suatu area atau ruangan dengan menggunakan bahan kimia atau alami tertentu. Tujuan utama dari repelen spasial adalah mencegah hama masuk ke dalam ruangan atau area yang ingin dilindungi atau mengusir mereka dari area tersebut. Ini berbeda dari insektisida yang biasanya digunakan untuk membunuh hama. Berikut beberapa karakteristik repelen spasial.

- 1) Cara kerja: repelen spasial bekerja dengan melepaskan bahan aktif ke udara dalam bentuk uap atau partikel halus. Bahan-

bahan ini mengusir hama dengan mengganggu sistem perasaan dan orientasi mereka. Beberapa bahan dapat mengacaukan kemampuan hama untuk mendeteksi bau, panas, atau karbon dioksida yang biasanya digunakan untuk mencari mangsa atau tempat bertelur.

- 2) Jenis bahan: repelen spasial dapat menggunakan berbagai jenis bahan aktif, baik sintesis maupun alami. Beberapa bahan yang umum digunakan meliputi *pyrethroid* yang merupakan bahan kimia yang sering digunakan dalam produk pengusir serangga, serta minyak esensial, seperti minyak *citronella*, lavender, atau *eucalyptus*.
- 3) Aplikasi: produk repelen spasial dapat berbentuk semprotan, tablet, lilin, atau piringan yang menguapkan bahan aktif. Mereka biasanya ditempatkan di dalam ruangan, seperti kamar tidur, dapur, atau area beranda, untuk mengusir serangga dan hama.
- 4) Keamanan: meskipun repelen spasial biasanya dianggap lebih aman daripada insektisida yang digunakan untuk membunuh hama, penting untuk tetap mengikuti petunjuk penggunaan yang disediakan oleh produsen. Beberapa orang mungkin memiliki sensitivitas terhadap bahan-bahan tertentu, jadi perhatikan reaksi alergi atau iritasi.
- 5) Manfaat: keuntungan penggunaan repelen spasial termasuk perlindungan yang relatif aman dan nyaman dari serangga dan hama tanpa perlu membunuh mereka. Ini dapat menjadi solusi yang baik untuk menghindari gigitan serangga atau kerusakan yang disebabkan oleh hama, terutama di daerah-daerah yang sering terkena serangan serangga atau hama.

Tujuan dari metode ini adalah mengurangi kontak manusia dengan serangga seperti nyamuk untuk menurunkan penularan penyakit. Hal ini berbeda dengan metode kimiawi yang bertujuan membunuh serangga. Repelen spasial merupakan produk kimia yang dirancang untuk menjadi “aktif” (dengan membutuhkan panas atau listrik) atau “pasif” (tidak memerlukan panas atau listrik) dan melepaskan bahan kimia yang mudah menguap ke udara di dalam ruang. Contoh-

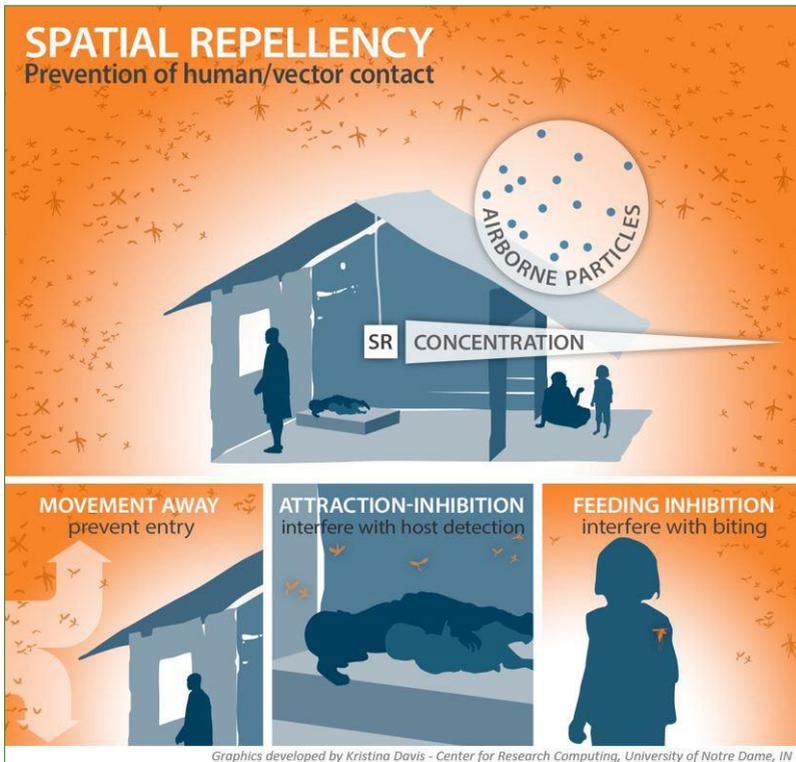
contoh produk yang saat ini tersedia adalah obat nyamuk bakar, lilin, dan beberapa produk lain yang masih dikembangkan. Perilaku yang ditimbulkan oleh spasiol repelen mengacu pada berkurangnya interaksi antara manusia dan serangga, yang meliputi dua hal.

- 1) Serangga menyingkir dari stimulus kimia yang ditimbulkan dari SR.
- 2) Serangga terhambat untuk makan.

Metode ini akan membuat serangga, misalnya nyamuk menyingkir dari area yang diberi SR, toksikan yang membunuh nyamuk dan iritasi kontak menyebabkan agitasi/gangguan pada nyamuk. SR dapat berfungsi pada jarak yang relatif lebih jauh dibandingkan metode toksik lain yang bergantung pada kontak antara nyamuk dan permukaan yang dipaparkan. Metode repelen spasiol tidak diterapkan secara langsung pada kulit, tetapi memancarkan uap dari perangkat yang dikenakan oleh orang (misalnya klip pada perangkat) atau digunakan di dekat orang (misalnya kumparan nyamuk/lilin serai). Kebanyakan repelen spasiol adalah piretroid yang mudah menguap, meskipun beberapa bahan aktif lain tersedia. Kondisi berangin dapat meminimalkan keefektifitasan repelen spasiol. Pada nyamuk, repelen spasiol dirancang untuk melepaskan senyawa aktif ke udara untuk menghalau nyamuk sehingga kontak manusia dan nyamuk terputus/terhambat. Senyawa yang dilepaskan dari repelen spasiol akan membuat nyamuk kebingungan dan kehilangan kemampuannya untuk mendeteksi manusia dan mencari darah (Achee et al., 2012).

Spasiol repelen dapat mencegah nyamuk masuk ke dalam rumah, atau nyamuk berada di dalam rumah tapi tidak bisa mendeteksi manusia, dan menghambat gigitan nyamuk. Cara kerja SR ini lebih memberikan proteksi yang tinggi dibandingkan cara tradisional seperti kelambu celup atau kelambu berinsektisida yang mungkin tidak protektif, tidak tersedia, dan tidak praktis. Metode spasiol repelen dapat digunakan sendirian tanpa ada intervensi pengendalian vektor yang lain. Namun, dapat juga digunakan sebagai kombinasi dengan metode pengendalian vektor yang lain untuk meningkatkan efektivitas program. Gambaran metode spasiol repelen terdapat pada Gambar 8.2.

Pada nyamuk yang telah mengalami resistensi insektisida dengan cara mengembangkan penutup luar tubuh yang lebih tebal (kutikula), spasiel repelen ini dapat pula menarget serangga jenis ini karena mekanisme spasiel repelen dihirup oleh serangga. Jadi, mekanisme ini tidak memerlukan penetrasi kutikula. Penelitian terbaru masih meneliti sejauh mana reseptor bau pada nyamuk dapat mengembangkan resistensi terhadap spasiel repelen.



Sumber: Davis (t.t.)

Gambar 8.2 Gambaran penerapan *spatial repellent* (SR) di mana partikel bahan kimianya dapat menimbulkan efek pengusiran serangga, mengurangi kontak serangga dan manusia, serta menghambat gigitan/*feeding inhibition*.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Sampai saat ini, sebagian besar penelitian telah mengevaluasi metode spasial repelen pada nyamuk. Namun, beberapa spasial repelen juga telah dicobakan pada kutu dan perlu penyelidikan lebih lanjut. Selain efek pengusiran serangga yang diakibatkan oleh spasial repelen ini, beberapa penelitian menunjukkan adanya kematian serangga yang diakibatkan oleh spasial repelen ini. Namun, hal ini masih membutuhkan studi lanjutan pada berbagai spesies nyamuk dan kondisi lingkungan yang berbeda untuk dapat mengonfirmasinya. Penelitian terkini terkait efikasi repelen spasial untuk pengendalian nyamuk *Aedes* sp. di Peru menyebutkan, dengan penggunaan SR dapat menurunkan infeksi penyakit tular nyamuk *Aedes* sebesar 34.1%. (Morrison et al., 2021). SR juga telah dicuji coba untuk pencegahan penyakit malaria. Penelitian yang dilakukan Syafruddin et al. (2020) di Sumba, Indonesia, menyatakan adanya hasil yang menjanjikan serta menyarankan dilakukannya penelitian dengan desain *randomized control trial* lebih lanjut dan lebih besar sampelnya untuk menguji efikasi SR (Syafruddin et al., 2020).

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Bab 9

NYAMUK DAN METODE PENGENDALIANNYA

A. BIOLOGI NYAMUK

Nyamuk (*Culicidae*) merupakan salah satu bagian dari kelompok ordo Diptera selain *Glossina*, *Simulium*, *Phlebotomus*, *Lutzomyia*, *Tabanidae*, dan *Ceratoponidae*. Di dunia terdapat sekitar 3.000 spesies nyamuk dan 100 spesies di antaranya berperan sebagai vektor penyakit. Penyakit tular vektor nyamuk di antaranya adalah dengue, filariasis, malaria, *japanese encephalitis*, dan cikungunya oleh nyamuk genus *Aedes*, *Anopheles*, *Culex*, dan *Mansonia*.

Berikut akan dibahas dengan lebih detail contoh-contoh jenis nyamuk.

1. *Aedes* sp.

Pada negara-negara tropis, *Aedes* merupakan vektor dari penyakit yang disebabkan oleh virus seperti demam berdarah dan cikungunya. Di beberapa daerah, *Aedes* juga dapat menularkan *zika* dan filariasis. Penyakit-penyakit tersebut umumnya ditularkan melalui spesies *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus*. Berikut klasifikasi *Aedes* sp., seperti dikutip dari David dan Belding (1952).

Kingdom	: Animalia
Filum	: Artropoda
Kelas	: Insekta
Ordo	: Diptera
Famili	: Culicidae (Culicini)
Genus	: <i>Aedes</i>
Spesies	: <i>Aedes aegypti</i> , <i>Aedes albopictus</i>

Beberapa karakteristik dari *Aedes* sp. dijelaskan berikut ini.

a. Morfologi

Aedes berukuran kecil, sekitar 4–13 mm dan sangat rapuh. Nyamuk betina dewasa umumnya memiliki ukuran yang lebih besar dari nyamuk jantan dewasa. Kepalanya memiliki *proboscis* halus dan panjang yang melebihi kepala. Letak *proboscis* pada *Aedes* tidak sejajar garis lurus dengan badan, melainkan berada pada sudut yang berbeda. Hal ini disebabkan oleh kaki-kaki dari *Aedes yang* berukuran sama panjang sehingga saat hinggap pada permukaan, lebih mudah untuk mengisap dengan letak *proboscis* yang tidak sejajar dengan badan. Pada sisi kanan dan sisi kiri *proboscis*, terdapat sepasang *palpus* yang terdiri dari 5 ruas dan antena yang terdiri dari 15 ruas. Ciri khas dari *Aedes* adalah ukuran *palpus* yang lebih pendek dari *proboscis*.

Antena pada nyamuk jantan berambut lebat (*plumose*), sedangkan pada nyamuk betina berambut jarang (*pilose*). Umumnya, ruas-ruas dan antena pada nyamuk dewasa berwarna putih perak dan badan nyamuk dewasa berwarna hitam kecokelatan dengan garis horizontal berwarna putih. Selain itu, ciri khas lainnya dari *Aedes*, yaitu pada bagian punggung terdapat dua garis lengkung vertikal di bagian kiri dan kanan. *Posterior* dari *mesonotum* membentuk tiga lengkungan (*trilobus*). Ujung dari badan nyamuk betina umumnya lancip. Abdomen berbentuk silinder dengan sepuluh ruas dan dua ruas terakhir berfungsi sebagai alat kelamin. Sayap nyamuk panjang dan langsing mempunyai vena yang permukaannya ditumbuhi sisik-sisik sayap yang letaknya mengikuti vena. Pada pinggir sayap terdapat sederet rambut yang disebut *fringe*. Nyamuk memiliki 3 pasang kaki

yang melekat pada toraks dan tiap kaki terdiri dari satu ruas femur, satu ruas tibia, dan lima ruas tarsus.

Telur nyamuk berwarna putih jika baru diletakkan, kemudian setelah 1–2 jam akan berubah menjadi hitam berbentuk bulat panjang dan tekstur dinding menyerupai sarang lebah. Ciri khas dari telur *Aedes*, yakni diletakkan pada permukaan air secara terpisah antara satu dan lainnya serta tidak memiliki pelampung. Pada *Aedes*, larva memiliki *siphon* yang tidak langsung dengan banyak tabung pernapasan, hanya memiliki satu pasang jambul rambut dan *pecten* yang tumbuh tidak sempurna. Posisi pelekatan pada air, nyamuk membentuk sudut pada permukaan air, sedangkan ciri dari pupa *Aedes*, yaitu memiliki tabung terompet pernapasan berbentuk segitiga serta terdapat kantong udara yang terletak di antara bakal sayap nyamuk dewasa dan terpasang sayap pengayuh yang saling menutupi.

b. Siklus Hidup

Siklus hidup nyamuk *Aedes* sp. merupakan metamorfosis sempurna dengan detail sebagai berikut.

1) Stadium telur

Telur nyamuk *Aedes* dapat menetas dalam waktu 1–2 hari, sedangkan di alam bebas dapat menetas kurang lebih sama atau dapat lebih lama, tergantung pada keadaan air di wadah atau tempat perindukan. *Aedes* betina dapat mengeluarkan antara 100–300 butir telur dalam sekali bertelur dengan waktu 4–5 hari dapat mencapai 300–700 butir telur.

2) Stadium larva

Setelah kontak dengan air, telur akan menetas menjadi larva yang disebut dengan larva instar I dalam waktu ± 2 hari. Setelah itu, larva akan mengalami 3 kali pergantian kulit berturut-turut menjadi larva instar II, III, dan IV. Stadium larva biasanya berlangsung selama 6–8 hari. Larva instar I memiliki tubuh yang sangat kecil, berwarna transparan dengan ukuran panjang 1–2 mm, dan memiliki duri-duri (*spinae*) pada toraks yang belum begitu jelas serta corong pernapasan (*siphon*) yang

belum menghitam. Larva instar II dan III akan bertambah besar dengan ukuran 2,5–3,9 mm meski duri pada dada belum jelas, tetapi *siphon* telah menghitam. Sementara itu, pada larva instar IV, struktur anatominya telah lengkap dan tubuh telah dapat dibedakan menjadi bagian kepala, dada, dan perut.

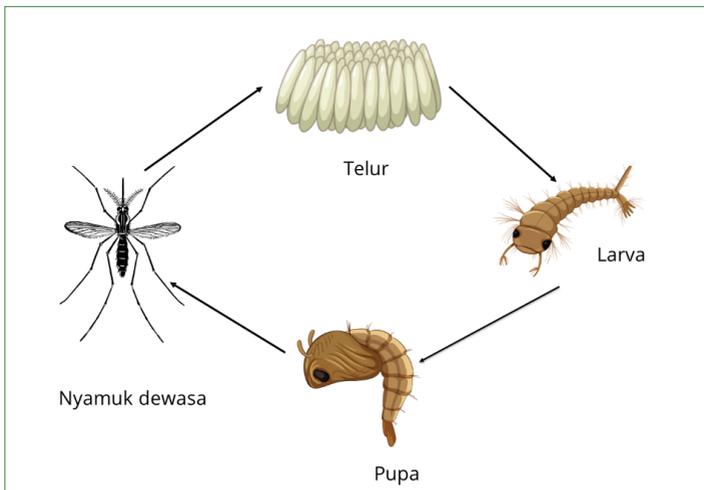
3) Stadium pupa

Pupa *Aedes* merupakan tahapan selanjutnya dari stadium larva instar IV yang telah mengalami pertumbuhan ukuran tubuh. Setelah berumur 1–2 hari, pupa akan berubah menjadi nyamuk dewasa jantan atau betina.

4) Stadium dewasa

Setelah satu hari, perkembangan nyamuk *Aedes* jantan siap melakukan kopulasi dengan nyamuk betina. Setelah kopulasi dilakukan, nyamuk betina akan mencari makan berupa darah manusia atau hewan yang akan digunakan untuk pemasakan telur. Kemudian siklus akan terulang kembali ke stadium telur.

Gambar siklus hidup nyamuk terlihat pada Gambar 9.1



Sumber : Diadaptasi dari Centers for Disease Control and Prevention (2024b)

Gambar 9.1 Siklus Hidup Nyamuk

2. *Anopheles* sp.

a. Klasifikasi

Berikut merupakan klasifikasi *Anopheles* sp., dikutip dari David dan Belding (1952).

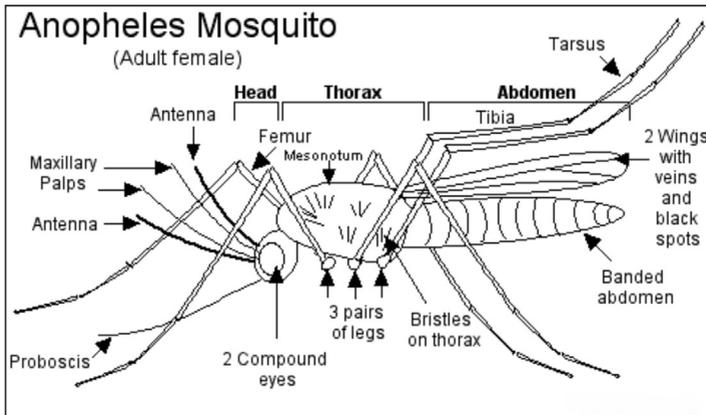
Kingdom	: Animalia
Filum	: Artropoda
Kelas	: Insekta
Ordo	: Diptera
Famili	: Culicidae (Anophelini)
Genus	: <i>Anopheles</i>
Spesies	: <i>Anopheles</i> sp.

b. Morfologi

Bentuk tubuh dari *Anopheles* sp. pada umumnya tidak begitu jauh berbeda dengan bentuk tubuh nyamuk lainnya. Pada bagian kiri dan kanan *proboscis* terdapat *palpus* yang terdiri atas 5 ruas dan sepasang antena yang terdiri dari 15 ruas. Antena pada nyamuk jantan berambut lebat (*plumose*) dan pada nyamuk betina berambut jarang (*pilose*). Sebagian toraks yang tampak (*mesonotum*) diliputi oleh bulu halus. Di permukaan sayap nyamuk terdapat vena yang diikuti oleh sisik-sisik. Pada daerah pinggir sayap terdapat sederetan rambut yang disebut *fringe*. Abdomen berbentuk silindris dan terdiri atas 10 ruas serta 2 ruas paling belakang bertindak sebagai kelamin.

Nyamuk memiliki tiga pasang kaki yang melekat pada toraks dan tiap kaki terdiri atas satu ruas femur, satu ruas tibia, dan lima ruas tarsus. Ciri khas dari nyamuk *Anopheles* dewasa adalah panjang *palpus* yang hampir setara dengan *proboscis* dan pada nyamuk jantan ujung *palpus* membesar, posisi *proboscis* dan badan sejajar pada garis lurus, ukuran kaki, sayap, serta antena yang lebih panjang, dan besar dari nyamuk-nyamuk lainnya. Selain itu, posisi nyamuk dewasa saat hinggap pada permukaan tidak mendatar, melainkan posisi badan bagian belakang lebih naik ke atas dari badan bagian depan.

Pada telur-telur *Anopheles*, ciri khas yang dimiliki berupa telur-telur yang ada pada permukaan air yang tidak terpisah tunggal, tetapi terpisah dan saling melekat pada ujung-ujungnya karena telur *Anopheles* memiliki ujung-ujung runcing serta telur-telur memiliki pelampung. Larva *Anopheles* saat posisi istirahat akan menempel seluruhnya di permukaan air karena tidak memiliki kaki, larvanya tidak memiliki *siphon*, abdomennya tidak berisik pada bagian kanan-kiri segmen abdomen, dan kadang-kadang toraks dilengkapi dengan rambut palmat serta bagian dorsal abdomen memiliki pelat tergal. Pupa *Anopheles* mempunyai tabung pernapasan berbentuk seperti terompet yang lebar dan pendek, digunakan untuk mengambil oksigen dari udara. Morfologi nyamuk *Anopheles* terdapat pada Gambar 9.2.



Sumber: Universitas Negeri Lampung (t.t.)

Gambar 9.2 Morfologi *Anopheles* Dewasa

c. Siklus Hidup

Siklus hidup nyamuk *Anopheles* adalah sebagai berikut.

1) Stadium telur

Nyamuk *Anopheles* betina dewasa biasanya meletakkan telurnya dengan jumlah sekitar 50–200 butir. Telur ini akan menetas

dalam kisaran waktu 2–13 hari, tetapi untuk daerah dengan iklim dingin, telur *Anopheles* akan menetas dengan waktu 2–3 minggu. Waktu menetasnya telur dipengaruhi oleh spesies nyamuk, makanan yang tersedia, dan suhu udara yang ada pada tempat perindukan (pantai, pedalaman, dan kaki gunung).

2) Stadium larva

Larva *Anopheles* juga mengalami empat kali tahapan perkembangan dari larva instar I—larva instar II. Larva instar I memiliki perubahan perkembangan dalam jangka waktu 1 hari dengan ciri-ciri tubuh berwarna transparan, duri-duri pada torakstoraks belum begitu jelas, dan corong pernapasan belum menghitam. Larva instar II memiliki perubahan perkembangan dalam jangka waktu 1–2 hari dengan penambahan ukuran 2,5–3,9 mm. Larva instar II memiliki waktu perkembangan sekitar 2 hari dengan ukuran tubuh yang lebih besar dari instar I dan lebih aktif bergerak. Sementara itu, pada larva instar III, jangka waktu perkembangannya dalam 2–3 hari dengan ukuran paling besar 5 mm. Pada tahap instar III, larva telah dapat dibedakan dengan sempurna anatominya.

3) Stadium pupa

Pupa bergerak aktif dan akan menetas selama 1–2 hari untuk menjadi nyamuk dewasa dan umumnya nyamuk jantan dewasa menetas lebih dulu dibandingkan nyamuk betina.

4) Stadium dewasa

Nyamuk dewasa yang baru muncul akan beristirahat di permukaan air dalam waktu singkat agar sayap-sayapnya kuat dan badannya kering. Nyamuk jantan muncul sekitar 1 hari sebelum nyamuk betina, kemudian menetap dekat tempat perindukan dan memakan sari buah dari tumbuhan.

3. *Culex* sp.

a. Klasifikasi

Berikut merupakan klasifikasi *Culex* sp., dikutip dari David dan Belding (1952).

Kingdom	: Animalia
Filum	: Artropoda
Kelas	: Insekta
Ordo	: Diptera
Famili	: Culicidae (Culiculini)
Genus	: <i>Anopheles</i>
Spesies	: <i>Culex</i> sp.

b. Morfologi

Nyamuk dewasa dapat berukuran 4–10 mm. Morfologi nyamuk dewasa tidak jauh berbeda dengan nyamuk lainnya, yaitu memiliki tiga bagian tubuh, seperti kepala, dada, dan perut. Kepala *Culex* umumnya bulat atau *spheric* dan memiliki sepasang mata, sepasang antena, sepasang *palpus* yang terdiri atas 5 ruas dan 1 *proboscis* atas 15 ruas. Pada genus *Culex* tidak terdapat rambut pada *spiracular* maupun pada *post-spiracular*. Panjang *palpus maxillaris* lebih pendek dari *proboscis*, tetapi pada nyamuk jantan sama dengan *proboscis*. Pada bagian metatoraks mengecil dan terdapat sepasang sayap yang mengalami modifikasi menjadi halter. Abdomen terdiri atas delapan segmen tanpa bintik putih di tiap segmen.

Ciri lain dari nyamuk *Culex* adalah posisi yang sejajar dengan bidang permukaan yang dihinggapi saat istirahat atau saat menusuk dengan kaki belakang yang sedikit terangkat. Genus *Culex* dikenali dengan struktur sketelum yang trilobus, ujung abdomen yang tumpul, dan badannya penuh dengan sisik-sisik. Selain itu, struktur yang membedakan genus ini dengan genus lainnya adalah struktur yang disebut pulvilus yang berdekatan dengan kuku di ujung kaki nyamuk. Nyamuk dewasa memiliki dua garis putih berbentuk kurva pada toraks.

Telur dari *Culex* yang berada di permukaan air akan bergerombol dan bersatu membentuk rakit sehingga mampu untuk mengapung. Salah satu ciri dari larva *Culex* adalah memiliki *siphon* dengan kumpulan rambut membentuk sudut dengan permukaan air. Selain itu, *siphon* juga memiliki *pecten*, sisir dengan gigi-gigi sisir (*comb teeth*). Larva *Culex* juga memiliki jenis pelana tertutup, berbeda dengan *Aedes* dengan pelana terbuka. Tubuh pupa *Culex* berbentuk bengkok dan kepalanya besar, mempunyai tabung pernapasan yang bentuknya kelihatan sempit dan panjang.

c. Siklus Hidup

Siklus hidup dari nyamuk *Culex* adalah sebagai berikut.

1) Stadium telur

Nyamuk *Culex* betina dalam satu kali bertelur akan menghasilkan 100 telur dan biasanya dapat bertahan mencapai enam bulan. Telur akan menetas menjadi larva setelah dua hari.

2) Stadium larva

Stadium larva pada nyamuk *Culex* tidak berbeda dengan nyamuk lainnya, yaitu memiliki 4 tahapan. Larva instar I berukuran paling kecil, yaitu 1–2 mm setelah menetas serta duri-duri dada dan corong pernapasan (*siphon*) belum dapat dibedakan dengan jelas. Larva instar II berukuran 2,5–3,5 mm pada hari ke-2 atau hari ke-3 setelah telur menetas. Larva instar III berukuran 4–5 mm pada hari ke-3 sampai hari ke-4 setelah telur menetas dan *siphon* telah berubah warna menjadi kehitaman. Larva instar IV berukuran paling besar, yaitu 5–6 mm, pada hari ke-4 sampai hari ke-6 setelah menetas dan dapat dibedakan dengan jelas duri-duri pada dada.

3) Stadium pupa

Pupa membutuhkan waktu 2–5 hari untuk berubah menjadi nyamuk dewasa. Pupa tidak memakan apapun, hanya membutuhkan oksigen untuk pertumbuhannya.

4) Stadium dewasa

Setelah muncul dari pupa, nyamuk jantan dan betina akan melakukan kopulasi. Nyamuk betina yang telah dibuahi akan menghisap darah selama 24–36 jam. Darah merupakan sumber protein esensial untuk mematangkan telur. Perkembangan telur hingga dewasa memerlukan waktu sekitar 10–12 hari.

4. *Mansonia* sp.

a. Klasifikasi

Berikut merupakan klasifikasi *Mansonia* sp.

Kingdom	: Animalia
Filum	: Artropoda
Kelas	: Insekta
Ordo	: Diptera
Famili	: Culicidae (Culiculini)
Genus	: <i>Mansonia</i>
Spesies	: <i>Mansonia</i> sp.

b. Morfologi

Morfologi dari nyamuk genus *Mansonia* tidak jauh berbeda dengan nyamuk genus lainnya. Ciri khas yang dimiliki oleh nyamuk genus *Mansonia*, yaitu bentuk telur yang berkelompok dan menyatu pada ujung bagian atas, larva memiliki toraks, abdomen yang cukup besar, posisi toraks yang menggantung tegak lurus pada akar tanaman air beserta larvanya memiliki *siphon* yang pendek dan ujungnya berbentuk seperti duri, tidak memiliki *pecten*, serta memiliki sepasang gigi sisir. Pada pupa nyamuk genus *Mansonia*, terdapat alat pernapasan menyerupai terompet berbentuk panjang dan bergerigi, sedangkan untuk nyamuk dewasa genus *Mansonia*, saat hinggap tidak membentuk sudut 90°, tetapi sejajar dengan permukaan tempat hinggap.

Nyamuk ini memiliki bentuk tubuh yang besar dan panjang serta bentuk sayap yang asimetris. Pada sayap terdapat bintik-bintik dan

warna tubuh nyamuk yang terdiri dari hitam atau coklat bercampur putih. Selain itu, pada nyamuk dewasa terdapat rambut di depan spirakel femur dengan 3–5 gelang yang teratur dan vena pada sayap dilengkapi dengan *scale* sayap yang luas.

c. Siklus Hidup

Siklus hidup nyamuk genus *Mansonia* sebagai berikut.

- 1) Stadium telur
Telur dari nyamuk *Mansonia* membutuhkan kondisi yang hangat seperti di negara tropis pada umumnya. Telur-telur tersebut akan menetas setelah 2–3 hari di daerah perairan. Umumnya, telur tersebut mengelompok, membentuk rakit di bawah permukaan daun tanaman air.
- 2) Stadium larva
Setelah telur menetas, larva akan mengalami 4 tahap perubahan. Perubahan tersebut merupakan perubahan instar I sampai d instar IV. Perubahan instar ini mengikuti dengan pertumbuhan ukuran tubuh dari larva. Waktu yang dibutuhkan larva nyamuk *Mansonia* menjadi pupa adalah ± 6 hari.
- 3) Stadium pupa
Pupa nyamuk genus *Mansonia* umumnya bergerak aktif naik turun untuk mengambil oksigen di udara. Pupa-pupa ini mengalami pertumbuhan dan siap menjadi nyamuk dewasa dalam waktu sekitar 2–3 hari.
- 4) Stadium dewasa
Setelah nyamuk dewasa muncul, nyamuk jantan siap membuahi nyamuk betina. Perubahan stadium nyamuk genus *Mansonia* untuk menjadi dewasa dibutuhkan waktu sekitar 10–12 hari.

B. BIONOMIK NYAMUK

Bionomik nyamuk merupakan hubungan timbal balik antara nyamuk dengan lingkungan hidupnya. Bionomik nyamuk meliputi kebiasaan

menggigit, siklus hidup nyamuk, perkembangbiakan nyamuk, habitat nyamuk, pemilihan hospes (organisme sasaran nyamuk menggigit), distribusi penyebaran nyamuk, dan penyakit yang ditularkan oleh nyamuk.

1. Bionomik *Aedes* sp.

a. Kesenangan Tempat Perindukan Nyamuk *Aedes*

Tempat perindukan nyamuk biasanya berupa genangan air yang tertampung di suatu tempat atau bejana. Nyamuk *Aedes* tidak dapat berkembang biak di genangan air yang langsung bersentuhan dengan tanah. Genangan yang disukai sebagai tempat perindukan nyamuk ini berupa genangan air yang tertampung pada suatu bejana, seperti kontainer, drum, bak kamar mandi, atau wadah lainnya yang bukan genangan air di tanah. Selain itu, nyamuk *Aedes* juga menyukai tempat-tempat lainnya, seperti vas bunga, perangkap semut, lubang pohon, lubang batu, pelepah daun, potongan bambu, tempurung kelapa, dan ban bekas. Nyamuk *Aedes* lebih tertarik untuk meletakkan telurnya pada tempat penampungan air yang berwarna gelap, terbuka lebar, dan tidak terkena matahari langsung, baik di dalam maupun di luar rumah.

Tempat perindukan nyamuk *Aedes* harus memiliki suhu, kelembaban, dan pH yang optimal. Larva-larva *Aedes* dapat berkembang biak dengan optimal pada suhu 27°C–36°C, kadar pH antara 4–7, dan kelembaban berkisar antara 67%–80%. Jika salah satu dari suhu, kadar pH, dan kelembaban tersebut tidak terpenuhi, nyamuk tidak dapat tumbuh dengan optimal, memiliki usia yang lebih pendek, atau berhenti tumbuh/mati.

b. Kebiasaan Waktu Menggigit Nyamuk *Aedes*

Nyamuk *Aedes* memiliki kebiasaan mengisap darah pada pagi hari, yaitu pukul 08.00–12.00 dan sore hari, yaitu pukul 15.00–17.00. Nyamuk betina memiliki kebiasaan mengisap darah berpindah-pindah,

berkali-kali, dari satu individu ke individu lain. Hal ini karena aktivitas manusia yang aktif bergerak mengganggu kenyamanan nyamuk untuk mengisap darah sampai kenyang. Nyamuk *Aedes albopictus* betina lebih suka untuk mengisap darah di luar ruangan yang teduh dan terhindar angin. Nyamuk *Aedes* jenis ini aktif menggigit pada siang hari. Waktu menggigit dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti bau yang dipancarkan oleh inang, temperatur, kelembaan, kadar CO₂, dan warna.

Nyamuk *Aedes* betina memiliki umur sekitar 1 bulan dengan jarak terang sekitar 100 meter dan mengisap darah manusia setiap 2–3 hari sekali.

c. Kebiasaan Tempat dan Waktu Istirahat Nyamuk *Aedes*

Setelah nyamuk kenyang mengisap darah, nyamuk betina memerlukan waktu istirahat sekitar 2–3 hari untuk mematangkan telurnya. Tempat istirahat yang disukainya adalah tempat-tempat yang lembap dan kurang terang, seperti WC, dapur, dan kamar mandi, atau pada baju-baju dan tirai yang menggantung, serta pada tanaman hias di halaman rumah.

2. Bionomik *Anopheles* sp.

a. Kesenangan Tempat Perindukan Nyamuk *Anopheles*

Nyamuk *Anopheles* umumnya ditemukan di luar rumah (eksofagik). Larva *Anopheles* banyak ditemukan di kolam ikan (mujair dan bandeng), rawa-rawa perbukitan, pegunungan, mata air, saluran air/selokan, khususnya di Nusa Tenggara Timur dan Sulawesi. Untuk beberapa daerah lainnya, seperti Banyuwangi, *Anopheles* banyak ditemukan di laguna, kobakan air, dan mata air. Selain itu, nyamuk *Anopheles* juga banyak ditemukan pada kandang hewan ternak. Habitat nyamuk *Anopheles* umumnya selalu pada genangan air sepanjang tahun atau

bersifat permanen. Hal ini disebabkan karena kotoran-kotoran yang ada di air, seperti lumut, merupakan makanan bagi larva *Anopheles*. Penyebaran *Anopheles* merata di wilayah pedesaan, khususnya pada area dekat dengan hutan, pegunungan, dan persawahan.

b. Kebiasaan Waktu Menggigit Nyamuk *Anopheles*

Nyamuk *Anopheles* ditemukan aktif menggigit sepanjang malam, mulai pukul 18.00–06.00 dengan puncak tertinggi sekitar pukul 18.00–19.00 dan 02.00–04.00. Waktu menggigit nyamuk memiliki hubungan dengan kelembapan suhu dan curah hujan. Pada pukul tersebut memiliki suhu yang optimal sekitar 24°–26°C dan kelembapan sekitar 71%–86% yang sesuai dengan daya terbang nyamuk.

Pengaruh curah hujan untuk pertumbuhan larva nyamuk *Anopheles* juga ditentukan oleh jenis habitatnya. Jika *Anopheles* menetap di wilayah pantai, pertumbuhan optimalnya pada musim kemarau. *Anopheles* yang hidup di wilayah pegunungan dan rawa akan lebih optimal berkembang biak pada musim hujan. Kondisi ini disebabkan oleh ketersediaan air untuk perkembangan larva.

c. Kebiasaan Tempat dan Waktu Istirahat Nyamuk *Anopheles*

Nyamuk-nyamuk *Anopheles*, khususnya jenis *Anopheles sundaicus*, memiliki kebiasaan istirahat pada semak-semak dan dekat dengan tempat perindukan pada pukul 23.00–02.00. Pada kondisi dinding-dinding rumah yang tidak kedap serangga dan memiliki banyak semak-semak di halaman rumah, dapat memperbesar kemungkinan *Anopheles* masuk ke dalam rumah. Nyamuk *Anopheles* yang tidak mendapatkan mangsa di luar rumah akan masuk ke dalam rumah melalui celah-celah. Kemudian nyamuk hinggap pada dinding-dinding dengan maksimal ketinggian sekitar tiga meter. Setelah itu nyamuk-nyamuk akan menghisap darah manusia pada saat tidur.

3. Bionomik *Culex*

a. Kesenangan Tempat Perindukan Nyamuk *Culex*

Habitat yang disenangi oleh nyamuk *Culex* adalah air kotor dengan penuh substrat organik. Umumnya mereka menyukai air kubangan di area semak-semak ataupun persawahan. Hal ini disebabkan karena kubangan air di area tersebut memiliki substrat organik seperti sampah dan tanaman-tanaman air sebagai makanan larva-larvanya. Selain itu, nyamuk *Culex* dapat berkembang biak dengan cepat di tangki septik atau di kolam-kolam ikan. Nyamuk *Culex* tidak menyukai area perairan yang luas dan mengalir deras seperti sungai karena memiliki sedikit konsentrasi nutrisi untuk larva dan tingginya jumlah predator larva. Kepadatan nyamuk *Culex* ada hubungannya dengan kelembapan, suhu, dan curah hujan. Curah hujan yang tinggi dengan intensitas hujan sedang sangat mendukung untuk perkembangbiakan larva menjadi nyamuk dewasa. Hujan dengan intensitas tinggi dapat menghancurkan larva-larva nyamuk *Culex*.

Nyamuk *Culex* lebih tahan terhadap suhu dibandingkan nyamuk *Aedes*, yaitu sekitar 16°C. Temperatur optimal dalam perkembangbiakan nyamuk *Culex* berkisar antara 20°C–26°C. Selain itu, larva nyamuk *Culex* dapat hidup dan berkembang biak optimal di perairan tanpa intervertebrata lainnya. Nyamuk *Culex* banyak ditemui di daerah pedesaan dan air payau yang memiliki banyak area perairan.

b. Kebiasaan Waktu Menggigit Nyamuk *Culex*

Nyamuk *Culex* sp. menggigit mangsa pada rentang pukul 19.00–04.00. Nyamuk ini suka menggigit manusia dan hewan seperti unggas, kambing, kerbau, dan sapi. Kepadatan menggigit manusia di dalam rumah lebih tinggi dibandingkan menggigit di luar rumah.

c. Kebiasaan Waktu dan Tempat Istirahat Nyamuk *Culex*

Setelah nyamuk menggigit orang atau hewan, nyamuk tersebut akan beristirahat selama 2–3 hari. Setiap spesies nyamuk mempunyai

kesukaan beristirahat yang berbeda-beda. Namun, pada umumnya nyamuk *Culex* suka beristirahat di dalam rumah. Nyamuk *Culex* biasanya hinggap pada dinding-dinding di dalam rumah. Selain itu, nyamuk *Culex* juga ditemukan beristirahat di luar rumah seperti di semak-semak.

4. Bionomik Nyamuk *Mansonia* sp.

a. Kesenangan pada Tempat Perindukan Nyamuk *Mansonia*

Nyamuk *Mansonia* pada umumnya lebih senang hidup pada air tawar atau air yang mengandung garam dengan tingkat salinitas sekitar 0–3%. Nyamuk ini hidup secara nokturnal berada di wilayah hutan, rawa-rawa, lingkungan kotor, dan area kolam ikan yang tidak terpakai. Perairan dengan tumbuhan-tumbuhan air, seperti kanal irigasi, sangat disukai oleh nyamuk *Culex*. Hal ini karena tumbuhan-tumbuhan air berperan dalam perkembangan telur dan larva. Suhu yang disukai oleh nyamuk *Mansonia* berkisar antara 24°C–31°C dengan kelembapan terendah 60%. Kelembapan yang rendah akan memperpendek umur nyamuk, memengaruhi kecepatan berkembang biak, serta kebiasaan menggigit dan istirahat dari nyamuk.

b. Kebiasaan Waktu Menggigit Nyamuk *Mansonia*

Aktivitas menggigit nyamuk *Mansonia* lebih tinggi di dalam rumah dibandingkan di luar rumah. Puncak kepadatan tertinggi, yaitu pada pukul 18.00–19.00. Sebagian besar, nyamuk yang mengisap darah pada malam hari, termasuk *Mansonia*, mempunyai dua puncak aktivitas menggigit, yaitu pada tengah malam dan menjelang pagi hari. Akibat kebiasaan menggigit nyamuk *Mansonia* di dalam rumah, nyamuk ini dikatakan nyamuk endofagik. Namun, aktivitas menggigit juga dapat terjadi di luar rumah ketika manusia ada di luar rumah dan manusia sebagai inang utama yang paling disenangi.

c. Kebiasaan Waktu dan Tempat Istirahat Nyamuk *Mansonia*

Kebiasaan nyamuk *Mansonia* dalam beristirahat umumnya dilakukan di luar rumah, dekat dengan tempat perindukan. Setelah kenyang dengan darah, nyamuk *Mansonia* akan beristirahat selama 2–3 hari untuk mengoptimalkan pertumbuhan telur dan larvanya. Pembersihan daerah sekitar rumah penting dilakukan untuk mencegah adanya tempat perindukan rumah. Saat nyamuk beristirahat, ini memungkinkan terjadinya pelekatan parasit-parasit penyebab filariasis. Umumnya, parasit tersebut akan melekat pada permukaan-permukaan tubuh nyamuk atau tertelan, kemudian bercampur dengan saliva nyamuk.

C. PERMASALAHAN KESEHATAN OLEH NYAMUK *Aedes*, *Anopheles*, *Culex*, dan *Mansonia*

Nyamuk *Aedes*, *Anopheles*, *Culex*, dan *Mansonia* merupakan vektor dari beberapa penyakit tropis di Indonesia berikut ini.

1. Demam Berdarah

Nyamuk *Aedes* sp. merupakan vektor dari beberapa penyakit serius yang menyerang manusia, di antaranya *encephalitis*, *yellow fever*, demam berdarah dengue, dan demam dengue. Di Indonesia, salah satu masalah besar yang ditimbulkan oleh nyamuk *Aedes aegypti* dan *Aedes Albopictus* adalah demam dengue dan demam berdarah dengue. Penyakit ini merupakan penyakit endemis pada daerah tropis yang disebabkan oleh virus dengue dan ditularkan melalui gigitan nyamuk *Aedes* sp.

Beban penyakit demam berdarah dengue (DBD) paling banyak terjadi di Asia Pasifik, yakni sekitar 75% dari kasus dengue di dunia. Indonesia dilaporkan sebagai negara ke-2 dengan kasus DBD terbesar di antara 30 negara wilayah endemis. Pada tahun 2023, kasus DBD di Indonesia mencapai 57.884 kasus dengan 422 kematian (Kementerian

Kesehatan Republik Indonesia [Kemenkes RI], 2024). Meski jumlah kasus kematian akibat DBD dapat ditekan 1% pada satu dekade, jumlah kasus DBD masih terus meningkat. Hal ini disebabkan tingginya urbanisasi dan banyaknya daerah yang aktif melakukan pembangunan. Urbanisasi dan pembangunan yang begitu tinggi menyebabkan manusia membuka lahan-lahan baru untuk dijadikan tempat tinggal dengan menghilangkan habitat asli dari nyamuk DBD. Selain itu, isu-isu resistensi nyamuk *Aedes* terhadap beberapa insektisida dan perubahan perilaku nyamuk merupakan masalah besar yang masih harus diselesaikan (Lee et al., 2021).

2. Malaria

Penyakit malaria merupakan penyakit tropis yang disebabkan oleh genus *Plasmodium* dengan perantara gigitan nyamuk *Anopheles* sp. Populasi dan perkembangbiakan *Anopheles* sangat memengaruhi kejadian malaria di Indonesia. Kondisi iklim yang menyangkut temperatur, kelembapan, curah hujan, cahaya, dan pola tiupan angin di Indonesia sangat sesuai untuk kehidupan nyamuk *Anopheles* sp. Dunia mencatat setiap tahun setidaknya terjadi 500 juta kasus malaria dan 1 juta di antaranya meninggal dunia. Kasus terbanyak berada di Afrika, Asia, Amerika Latin, Timur Tengah, dan beberapa negara di Eropa. Diduga sekitar 36% penduduk dunia terkena risiko malaria.

Malaria ini terjadi ketika nyamuk *Anopheles* menggigit satu individu dengan gametosit *Plasmodium* di dalam darahnya. Kemudian individu terinfeksi dan nyamuk *Anopheles* berpindah menggigit individu lainnya. Gametosit pada nyamuk tersebut berubah hingga menjadi sporosit dan berpindah ke kelenjar saliva, kemudian menggigit individu dan sporosit berpindah. Sporosit akan masuk ke hati, melalui mekanisme darah, kemudian terjadilah malaria. Siklus *Plasmodium* gametosit menjadi sporosit terjadi antara 9–12 hari. Malaria juga dapat ditularkan secara tidak sengaja melalui transfusi darah, kontaminasi dari alat-alat operasi/jarum suntik, dan kehamilan.

3. Filariasis

Nyamuk *Culex* merupakan salah satu vektor pembawa parasit filaria di Indonesia selain nyamuk dari genus *Anopheles*, *Aedes*, dan *Mansonia*. Jenis parasit yang membutuhkan nyamuk *Culex* sebagai vektor adalah *Brugia malayi*. Habitat dari *Brugia malayi* ini sesuai dengan habitat nyamuk *Culex*. *Brugia malayi* akan melekat pada kaki-kaki nyamuk *Culex* atau tertelan saat menghisap darah. Selain nyamuk *Culex*, *Anopheles* juga dapat menularkan filariasis dengan parasit jenis *Brugia timori*. Cacing dewasa yang hidup di dalam tubuh manusia akan memproduksi embrio yang disebut mikrofilaria. Mikrofilaria ini yang akan menyebar mengikuti aliran darah kemudian terbawa saat nyamuk menggigit. Setelah berkembang dalam beberapa waktu, larva infeksiif akan masuk ke dalam tubuh manusia lagi melalui gigitan nyamuk, kemudian berpindah ke jaringan limfa dan kembali menjadi cacing dewasa pada individu yang berbeda. Biasanya cacing-cacing filaria dewasa akan menumpuk di daerah lipatan-lipatan tubuh, seperti kelamin, payudara, leher, dan kaki.

3. Penyakit Lainnya (*Japanese encephalitis* dan *Cikungunya*)

a. *Japanese encephalitis*

Nyamuk yang paling sering ditemukan sebagai vektor penyakit virus ensefalitis Jepang (*Japanese encephalitis* atau JE) adalah genus *Culex*. Penyebaran penyakit ini tergantung musim, terutama pada musim hujan saat populasi nyamuk *Culex* meningkat. Namun, penyakit ini terjadi secara sporadis di Indonesia, terutama pada daerah pertanian. Diperkirakan terdapat 35.000 kasus JE di Asia setiap tahun. Umumnya, penyakit ini menginfeksi anak usia 1–15 tahun. Babi dan unggas yang hidup di air, seperti bangau, merupakan hewan reservoir dari flavivirus ini. Selain itu, sapi, kuda, kerbau, kambing, tikus, kera, ayam, dan kucing juga dapat berperan sebagai reservoir. Sasaran utama dari golongan flavivirus ini sebenarnya adalah hewan. Secara kebetulan

saja, saat kepadatan nyamuk *Culex* meningkat dapat juga menyerang manusia. Akibat yang ditimbulkan jika manusia terserang penyakit ini cukup besar, terutama pada golongan balita. Penurunan kecerdasan, kecacatan, serta gangguan saraf merupakan sebagian dari akibat yang ditimbulkan (Garjito et al., 2019).

Peredaran virus JE di Indonesia pertama kali tercatat di Lombok pada tahun 1960 dan virus ini pertama kali diisolasi pada tahun 1972 dari nyamuk *Culex tritaeniorhynchus* di Bekasi, Jawa Barat, dan Kapuk, Jakarta Barat. Sejak saat itu, Indonesia diakui sebagai negara endemis penularan JE. Hingga saat ini, kasus JE telah ditemukan setidaknya di 29 provinsi, di antaranya Bali, Kalimantan Barat, Nusa Tenggara Timur, Jawa Barat, dan Jawa Timur menjadi daerah dengan kejadian tertinggi. Namun, surveilans rutin terhadap JE belum dilakukan di tingkat nasional meskipun banyak survei telah dilakukan. *Japanese Encephalitis virus* (JEV) telah diisolasi dari 10 spesies nyamuk, yaitu *Culex tritaeniorhynchus*, *Cx. gelidus*, *Cx. wisnui*, *Cx. fuscocephala*, *Cx. bitaeniorhynchus*, *Cx. quinquefasciatus*, *Anopheles vagus*, *An. Kochi*, *An. annularis*, dan *Armigeres subalbatus*. *Culex tritaeniorhynchus* merupakan vektor JE utama di Indonesia. JE telah terdeteksi di seluruh kepulauan Indonesia dari Barat hingga Timur. Namun, karena kurangnya pendekatan diagnostik yang rutin, sistematis, dan terstandarisasi, beban masalah JE masih belum diketahui dengan jelas (Garjito et al., 2018).

b. Cikungunya

Cikungunya merupakan suatu penyakit yang diakibatkan oleh virus cikungunya, golongan *Alphavirus* dengan perantara vektor seperti nyamuk genus *Aedes*. Jenis utama vektor penyakit ini adalah *Aedes albopictus*. Namun, nyamuk genus *Culex*, *Anopheles*, dan *Mansonia* juga dapat berperan dalam penyebaran penyakit cikungunya. Cikungunya merupakan suatu penyakit *re-emerging*, yang berarti penyakit ini merupakan penyakit lama yang muncul kembali. Hal ini dilihat dari kejadian luar biasa (KLB) pada tahun 1982–1985 dan terulang kembali pada tahun 2001–2002. Pada tahun 1982–1985, setidaknya terjadi 96

kasus cikungunya dan pada tahun 2001–2002 terjadi sebanyak 238 kasus cikungunya. Kasus-kasus cikungunya umumnya ditemukan di daerah urban dan suburban, bahkan akhir-akhir ini terjadi pada wilayah rural di Jawa yang berpenduduk padat. Cikungunya sebagian besar terjadi pada wilayah urban, menyesuaikan keberadaan vektor di wilayah tersebut.

Wabah cikungunya tergantung dari banyaknya faktor, yaitu kerentanan pejamu terhadap infeksi, densitas nyamuk yang tinggi, masuknya virus dari daerah endemis lainnya, peningkatan urbanisasi, dan pemanasan global. Intensitas transportasi dapat mendorong meningkatnya populasi nyamuk atau menyebabkan terjadinya introduksi vektor ke suatu daerah geografis baru. Distribusi geografis vektor *Aedes albopictus* yang makin luas, misalnya ke daerah Eropa dan Amerika, dapat makin memperluas area penyebaran penyakit ini (de Lima Cavalcanti et al., 2022).

D. PENCEGAHAN DAN PENGENDALIAN NYAMUK

1. Pencegahan

Pencegahan yang dilakukan dapat spesifik, terkait dengan nyamuk dan jenis penyakit yang ditimbulkannya, sebagai berikut.

a. Demam Berdarah

Hal yang paling efektif dalam mencegah DBD adalah mengurangi kepadatan vektor, yaitu nyamuk *Aedes*. Kontrol yang berkelanjutan terhadap tempat perindukan nyamuk *Aedes* dapat menurunkan kejadian DBD. Selain itu, pemberiaan bubuk larvasida dapat juga dilakukan untuk mencegah munculnya kepadatan nyamuk yang tinggi. Pencegahan personal juga dapat dilakukan dengan melakukan proteksi diri dari gigitan nyamuk, seperti menggunakan pakaian tertutup, pepelen, dan pemeriksaan larva di dalam rumah.

Banyak program yang telah dicanangkan oleh pemerintah untuk menangani kasus DBD, seperti Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN).

PSN merupakan program yang menggabungkan beberapa metode, seperti juru pemantau jentik (jumantik) dan menguras, mengubur, menutup (3M). Pada prinsipnya, program tersebut bertujuan untuk menekan kesempatan nyamuk untuk berkembang biak dan menularkan penyakit di rumah tangga. Peningkatan pengetahuan dan kesadaran masyarakat juga dibutuhkan dalam menyukseskan program PSN.

b. Malaria

Malaria dapat dicegah dengan menghindari gigitan nyamuk *Anopheles*. Mencegah gigitan nyamuk dapat dilakukan dengan menggunakan pakaian panjang, menggunakan repelen, menyemprotkan insektisida, dan menggunakan kelambu, baik kelambu biasa maupun kelambu berinsektisida. Selain itu, malaria juga dapat dicegah dengan menggunakan *indoor residual spraying* (IRS), yaitu penyemprotan insektisida ke dinding rumah dengan tujuan mematikan nyamuk *Anopheles* yang hinggap di dinding saat beristirahat. Pengunjung ke daerah endemis malaria juga dapat mengonsumsi obat-obatan profilaktik untuk mencegah perkembangan penyakit meskipun tergigit. Meningkatkan pengetahuan masyarakat pada wilayah endemis juga penting untuk mencegah kejadian malaria.

c. Filariasis

Penyakit filariasis dapat dicegah dengan pemberian dan peningkatan pengetahuan mengenai cara menghindari gigitan nyamuk dan tingkat bahaya filariasis. Selain itu, juga dapat dilakukan pemantauan secara terus-menerus melalui surveilans filariasis dan memberikan Pemberian Obat Pencegahan secara Massal (POPM) di wilayah endemis filariasis. POPM merupakan salah satu program dari pemerintah untuk mengeliminasi filariasis. Obat tersebut akan mematikan mikrofilaria yang ada dalam tubuh manusia.

Pemeriksaan darah untuk mengetahui keberadaan mikrofilaria pada suspek filariasis harus segera dilakukan. Hal ini dilakukan untuk segera mengisolasi penderita agar tidak menjadi sumber penularan

bagi individu lainnya. Selain itu, penanganan yang cepat dan tepat dapat mencegah tingkat keparahan dari filariasis. Pengobatan dengan *diethylcarbamazine* (DEC) merupakan salah satu jenis pengobatan yang dapat membunuh mikrofilaria hingga cacing dewasa di dalam tubuh. Namun, penggunaan DEC dapat menyebabkan mual dan perasaan tidak nyaman pada penderita.

d. *Japanese encephalitis* (JE) dan Cikungunya

Pencegahan JE dapat dilakukan dengan memberikan vaksin kepada masyarakat yang rentan. Penggunaan repelen untuk menghindari gigitan nyamuk, pakaian lengan panjang, dan kelambu juga dapat mencegah terjadinya JE. Selain itu, JE juga dapat dicegah dengan membuat kandang ternak yang jauh dari permukiman penduduk. Penyemprotan insektisida di luar rumah dirasa lebih efektif dibandingkan penyemprotan insektisida di dalam rumah. Namun, belum ada pencegahan dan perawatan khusus untuk penyakit cikungunya, melainkan hanya dengan menghindari gigitan nyamuk dan meminimalisir adanya perkembangbiakan nyamuk di dalam rumah.

2. Pengendalian

Pengendalian terhadap nyamuk tidak jauh berbeda, tetapi mengikuti ciri khas dari perilaku nyamuk dan mempertimbangkan stadium dari nyamuk yang akan dikendalikan. Pengendalian yang dilakukan dapat berupa pengendalian fisik, mekanik, biologi, dan kimiawi. Pengendalian juga dapat berupa perubahan kondisi fisik lingkungan dengan mengubah suhu ruangan menjadi lebih dingin, menggunakan radiasi sinar gamma dan sinar-X untuk memandulkan nyamuk. Selain itu, meningkatkan intensitas cahaya dan menghindari warna-warna gelap pada ruangan juga dapat mengendalikan keberadaan nyamuk.

Pengendalian secara mekanik dapat dilakukan dengan cara langsung ataupun tidak langsung. Pengendalian langsung dapat dilakukan dengan membunuh nyamuk secara langsung dengan

memukul atau menggunakan perangkap. Pengendalian tidak langsung dapat dilakukan dengan mengubah kondisi lingkungan secara permanen ataupun semipermanen. Menghindari perilaku menggantung pakaian di ruangan, menutup wadah-wadah penampungan air, membersihkan lahan dan semak-semak secara teratur, serta membersihkan kolam ikan dari tanaman air, menggunakan pakaian lengan panjang, menggunakan kelambu dan repelen, merupakan metode pengendalian mekanik secara langsung semipermanen. Pengendalian langsung secara permanen dapat dilakukan dengan membuat kandang hewan ternak jauh dari rumah, mengasinkan rawa-rawa dan perairan payau, serta menggunakan kembali kolam-kolam yang tidak terpakai dapat mencegah timbulnya tempat perkembangbiakan nyamuk di sekitar rumah.

Penggunaan predator alami dari nyamuk ataupun larva nyamuk, seperti ikan-ikan *larvivorous*, contohnya ikan mujair, dapat menekan pertumbuhan kepadatan nyamuk di lingkungan. Selain itu, dengan menggunakan tumbuhan-tumbuhan yang tidak disukai nyamuk seperti sereh, lavender, dan bunga geranium juga dapat menghindari nyamuk berada dalam lingkungan rumah. Namun, pengendalian secara biologis ini membutuhkan waktu yang lama dan bersifat sementara. Beberapa jenis nyamuk juga tahan terhadap gangguan dari ikan yang ada pada perairan. Dewasa ini, juga mulai dikembangkan pengendalian vektor secara biologis dengan menggunakan bakteri *B. Thuringiensis* dan *Wolbachia*. Kedua jenis bakteri ini akan mengganggu metabolisme dalam tubuh nyamuk. Pemandulan nyamuk dengan teknologi radiasi yang bekerja menghambat hormon reproduksi dari nyamuk juga telah dilakukan oleh beberapa wilayah untuk mengontrol nyamuk sebagai vektor penyakit

Pengendalian secara kimiawi yang dilakukan dapat berupa penggunaan repelen, memasang kelambu berinsektisida, menaburkan bubuk insektisida di dalam wadah penampungan air, dan menyemprotkan insektisida di ruangan. Jenis-jenis insektisida yang dapat diberikan berupa organofosfat, kalium, picaridin, dan *toluamide*. Jenis insektisida yang diberikan, disesuaikan dengan perilaku nyamuk.

Penggunaan insektisida racun kontak yang disemprotkan pada dinding untuk mengendalikan nyamuk *Aedes* dan *Anopheles*, diberikan pada kelambu dan repelen untuk semua jenis nyamuk, menggunakan insektisida dengan racun pernapasan yang disemprotkan ke ruangan untuk mencegah penggigitan nyamuk di dalam ruangan. Namun, untuk jenis penyemprotan dalam rumah, bagi nyamuk *Culex* tidak efektif. Pengendalian nyamuk *Culex* membutuhkan penyemprotan insektisida di luar rumah, seperti di pekarangan dan area persawahan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Bab 10

LALAT DAN METODE PENGENDALIANNYA

A. BIOLOGI DAN BIONOMIK LALAT

Lalat merupakan serangga yang termasuk ke dalam ordo Diptera yang merupakan ordo terbesar dari serangga dengan keragaman jenis yang tinggi. Istilah “Diptera” menunjukkan bahwa kelompok serangga ini memiliki dua pasang sayap pada masa embrional. Pasangan sayap belakang mengalami perubahan bentuk dan fungsi menjadi alat keseimbangan yang disebut halter, sedang sepasang sayap lainnya menjadi sayap sejati. Pada saat ini dijumpai kurang lebih 60.000–100.000 spesies lalat, tetapi tidak semua spesies perlu diawasi karena beberapa di antaranya tidak berbahaya terhadap kesehatan masyarakat.

1. Lalat Rumah (*Musca domestica*)

Lalat rumah, *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae) adalah spesies lalat yang paling umum dan tersebar luas di dunia. Serangga ini berasal dari sabana di Asia Tengah dan menyebar ke seluruh dunia, serta dapat ditemukan di daerah perdesaan dan perkotaan, di daerah beriklim tropis dan beriklim sedang. *Musca domestica* atau lalat rumah atau sering disebut *housefly* merupakan salah satu spesies serangga yang banyak terdapat di seluruh dunia. Sebagian besar (95%) dari berbagai jenis lalat yang dijumpai di sekitar rumah dan kandang adalah lalat

jenis ini. Di bidang kesehatan, *M. domestica* dianggap sebagai serangga pengganggu karena merupakan vektor mekanis beberapa penyakit dan penyebab myiasis pada manusia. Hewan ini juga mengganggu dari segi kebersihan dan ketenangan. Berikut ini merupakan klasifikasi *Musca domestica*.

Kingdom	: Animalia
Filum	: Artropoda
Kelas	: Insekta
Ordo	: Diptera
Famili	: Muscidae
Genus	: <i>Musca</i>
Spesies	: <i>Musca domestica</i>

a. Morfologi Lalat Rumah

M. domestica dimasukkan dalam kelompok artropoda atau binatang beruas, memiliki kerangka luar atau eksoskeleton yang mengandung kitin yang dapat mengelupas apabila tubuh berkembang. Lalat rumah ini berukuran sebesar biji kacang tanah, berwarna hitam kekuningan. *M. domestica* jantan berukuran panjang tubuh 5,8–6,5 mm dan lalat betina berukuran panjang tubuh 6,5–7,5 mm. Lalat ini secara umum mempunyai ciri berwarna kelabu. Tubuh lalat ini terbagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian kepala dengan sepasang antena, toraks, dan abdomen. Kepala *M. domestica* relatif besar dengan dua mata majemuk yang bertemu di garis tengah untuk lalat jantan, sedangkan pada lalat betina dua mata majemuk terpisahkan oleh ruang muka. Tipe mulut lalat adalah *sponging*, disesuaikan dengan jenis makanannya yang berupa cairan. Bagian mulut lalat digunakan sebagai alat penghisap makanan yang disebut dengan labium. Pada ujung labia terdapat *labella* yang menghubungkan antara labium dengan rongga tubuh (*haemocoel*).

Toraks terbagi atas tiga bagian, yaitu protoraks, mesotoraks, dan metatoraks. Toraks berwarna abu-abu kekuningan sampai gelap dan mempunyai empat baris garis hitam longitudinal dengan lebar yang sama dan membentang sampai ke tepi sputum, dengan tiga pasang

kaki dan sepasang sayap. Abdomen ditandai dengan warna dasar kekuningan serta didapatkan garis hitam di bagian median yang difus sampai di segmen keempat. Pada lalat betina, di samping ciri tersebut juga terdapat garis hitam yang difus di kedua sisi abdomen. Fertilisasi dan oviposisi berlangsung beberapa hari setelah lalat muda keluar dari pupa dan menjadi lalat dewasa. Lalat betina dapat menghasilkan 100–150 butir telur dalam tiap kelompok pada setiap kali peneluran dan biasanya betina bertelur dalam empat kelompok. Telur diletakkan pada feses segar atau tempat yang mengandung bahan organik yang membusuk. Secara keseluruhan *M. domestica* mampu menghasilkan telur dalam jumlah yang cukup besar, lebih kurang 2.000 butir. Dengan jumlah tersebut *M. domestica* mampu membentuk 10–12 generasi dalam satu musim.

b. Siklus Hidup Lalat Rumah

Lalat ini mempunyai metamorfosis lengkap mulai dari telur, larva, pupa, dan dewasa. Waktu metamorfosis lalat bervariasi, sekitar rata-rata 44,8 hari pada suhu lingkungan 16°C sampai dengan rata-rata 10,4 hari pada suhu 30°C. Siklus hidup lalat dijelaskan sebagai berikut.

1) Stadium telur

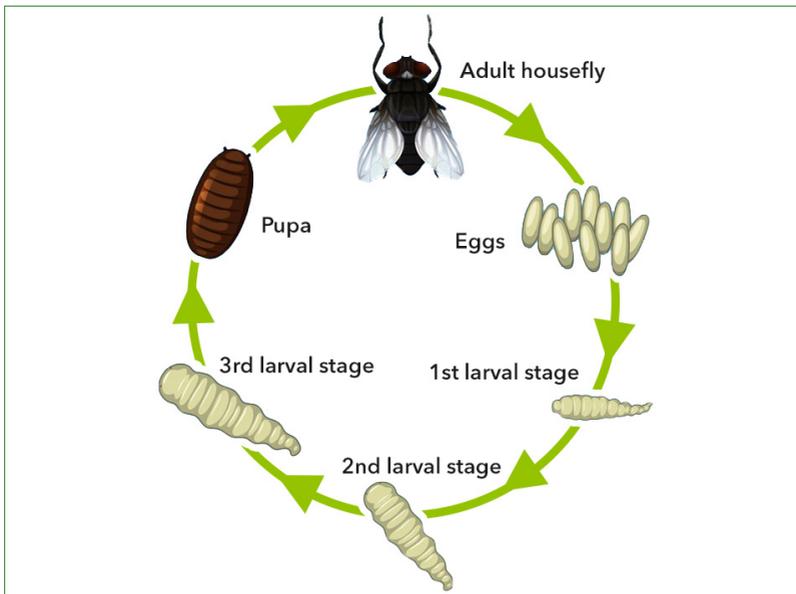
Pada temperatur 25°C–35°C, telur menetas dalam kurun waktu 8–12 jam. Telur akan menetas dan berkembang menjadi larva dalam waktu 3–7 hari, tergantung suhu lingkungan.

2) Stadium larva

Larva instar I mempunyai panjang 2 mm, stadium/tahap ini berlangsung selama 24–36 jam, tergantung suhu dan tempat yang cocok. Larva instar II berlangsung selama 24 jam pada temperatur 25°C–35°C. Kemudian dilanjutkan dengan instar III yang berlangsung selama 3–4 hari pada temperatur 35°C dengan ukuran 12 mm. Segera setelah stadium/tahap larva selesai, larva bermigrasi ke daerah yang lebih kering untuk menjadi pupa dan setelah mengalami tiga kali pergantian kulit, larva akan berkembang menjadi pupa.

- 3) Stadium pupa
Stadium pupa berlangsung antara 3–26 hari, tergantung suhu lingkungan dan akhirnya segera berkembang menjadi lalat dewasa.
- 4) Stadium dewasa
Siklus lengkap menjadi lalat dewasa dapat berlangsung kira-kira delapan hari pada temperatur 33°C–35°C sehingga sejumlah generasi berkembang pada musim panas.

Siklus hidup lalat digambarkan pada Gambar 10.1.



Sumber: Amusca (t.t.)

Gambar 10.1 Siklus Hidup *Musca domestica*

c. Kebiasaan Hidup

Lalat *Musca domestica* tidak menggigit karena mempunyai tipe mulut menjilat. Lalat *Musca domestica* paling dominan banyak ditemukan di timbunan sampah dan kandang ternak. Kebanyakan lalat hijau

adalah pemakan zat-zat organik yang membusuk dan berkembang biak di dalam bangkai, meletakkan telur pada tubuh hewan yang mati, dan larva makan dari jaringan-jaringan yang membusuk. Tempat yang disenangi adalah tempat basah seperti sampah basah, kotoran binatang, tumbuh-tumbuhan busuk, kotoran yang menumpuk secara kumulatif/di kandang. Kotoran binatang (kuda, sapi, ayam, dan babi), kotoran manusia, saluran air kotor, sampah, kotoran got yang membusuk, buah-buahan, sayuran busuk, dan biji-bijian busuk juga menjadi tempat yang disenangi lalat.

Jarak terbang lalat sangat tergantung pada adanya makanan yang tersedia, rata-rata 6–9 km, kadang-kadang dapat mencapai 19–20 km dari tempat berkembang biak. Lalat dewasa sangat aktif sepanjang hari, terutama pada pagi–sore hari. Lalat makan paling sedikit 2–3 kali sehari. Lalat sangat tertarik pada makanan yang dimakan oleh manusia sehari-hari seperti gula, susu dan makanan lainnya, serta kotoran manusia dan darah. Protein diperlukan untuk bertelur. Sehubungan dengan bentuk mulutnya, lalat hanya makan dalam bentuk cair atau makanan yang basah, sedangkan makanan yang kering akan dibasahi atau dicairkan oleh ludahnya terlebih dahulu baru dihisap. Air merupakan hal yang sangat penting dalam hidup lalat. Tanpa air, lalat hanya hidup 48 jam saja. Makanan yang berbentuk padat dengan diameter lebih besar dari 0,045 mm, sebelum dihisap oleh lalat, akan dicairkan terlebih dahulu dengan cara mengeluarkan cairan dari mulutnya yang mengandung enzim. Seperti halnya butir-butir gula pasir yang dilarutkan dengan air liurnya, kemudian larutan gula dihisap.

Pada saat hinggap, lalat mengeluarkan ludah dan tinja yang membentuk titik hitam. Tanda-tanda ini merupakan hal yang penting untuk mengenal tempat lalat istirahat. Lalat beristirahat pada tempat-tempat tertentu. Pada siang hari, bila lalat tidak makan, mereka akan beristirahat di lantai, dinding, langit-langit, jemuran pakaian, rumput-rumput, kawat listrik, dan lain-lain serta sangat menyukai tempat-tempat dengan tepi tajam yang permukaannya vertikal. Biasanya tempat istirahat ini terletak berdekatan dengan tempat makanan atau tempat berbiak dan biasanya terlindung dari angin. Di dalam rumah,

lalat beristirahat pada kawat listrik, langit-langit, lantai, jemuran, dan dinding, serta tidak aktif pada malam hari. Tempat hinggap lalat biasanya tidak lebih dari lima meter.

Lama hidup lalat sangat tergantung pada makanan, air, dan suhu. Pada musim panas, lalat hidup antara 2–4 minggu, sedangkan pada musim dingin biasanya mencapai 70 hari. Lalat mulai aktif beraktivitas pada temperatur 15°C dan aktivitas optimumnya pada temperatur 21°C. Lalat memerlukan temperatur sekitar 35°C–40°C untuk beristirahat. Pada temperatur <100°C, lalat tidak aktif dan di >45°C terjadi kematian pada lalat. Kelembapan erat hubungannya dengan temperatur setempat. Kelembapan berbanding terbalik dengan temperatur. Jumlah lalat pada musim hujan lebih banyak daripada musim panas. Lalat sangat sensitif terhadap angin yang kencang sehingga kurang aktif untuk keluar mencari makanan pada waktu kecepatan angin tinggi.

Lalat merupakan serangga yang bersifat fototropik, yaitu menyukai cahaya. Pada malam hari, lalat tidak aktif, tetapi dapat aktif dengan adanya sinar buatan. Efek sinar pada lalat tergantung pada temperatur dan kelembapan. Jumlah lalat akan meningkat pada temperatur 20°C–25°C dan akan berkurang pada temperatur <10°C atau >49°C, serta kelembapan yang optimum 90% .

Lalat tertarik pada cahaya terang seperti warna putih dan kuning, tetapi takut pada warna biru. Lalat tertarik pada bau atau aroma tertentu, termasuk bau busuk dan esens buah. Bau sangat berpengaruh pada indra penciuman, di mana bau merupakan stimulus utama yang menuntun serangga dalam mencari makanannya, terutama bau yang menyengat. Organ kemoreseptor terletak pada antena sehingga serangga dapat menemukan arah datangnya bau.

2. Lalat Tsetse (*Glossina*)

Lalat tsetse adalah vektor penting penyakit tripanosomiasis pada manusia dan hewan peliharaan. Paling sedikit terdapat tujuh spesies sebagai vektor infeksi *trypanosoma* pada hewan peliharaan. Spesies

Trypanosoma rhodesiense yang menjadi penyebab trypanosomiasis adalah *Glossina morsitans*, *G. swynnertoni*, dan *G. Pallidipes*. Penampakan lalat tsetse mirip lalat rumah, tetapi bisa dibedakan dari karakter anatomi mereka. Tsetse melipat sayap sepenuhnya pada saat tidak terbang sehingga sayap yang satu bertumpuk di atas sayap lain, menutupi perut mereka. Tsetse telah hidup selama 34 miliar tahun. Fosilnya yang tertua ditemukan di Colorado. Oleh karena itu, tsetse bisa disebut sebagai rajanya bangsa lalat.

a. Klasifikasi

Berikut merupakan klasifikasi ilmiah lalat tsetse dikutip dari Theobald (1903).

Kingdom	: Animalia
Filum	: Artropoda
Kelas	: Insekta
Ordo	: Diptera
Famili	: Glossinidae
Genus	: <i>Glossina</i>
Spesies	: <i>Glossina morsitans</i> , <i>G. fusca</i> , <i>G. palpalis</i> .

b. Morfologi

Secara sepintas, lalat tsetse tampak tidak berbeda dari lalat lain pada umumnya. Pada bagian kepalanya terdapat sepasang mata faset, sepasang *ocellus*, sepasang antena bersegmen (pada antena kedua mempunyai celah), artista berbagai bentuk yang merupakan ciri dari genus *Glossina* (*Glossina* artista dengan rambut-rambut yang bercabang), mulut (*proboscis*) dengan berbagai bentuk, ada yang berfungsi untuk menjilat dan ada yang berfungsi untuk menusuk, bagian-bagiannya adalah rostrum, *haustellum*, *palpa*, dan *labella*.

Bagian toraks terdapat sepasang sayap, halter, dan tiga pasang kaki. Warna toraks ada yang abu-abu, hijau berkilat, bercorak, tergantung jenis. Sayap mempunyai fenasi yang lengkap, mempunyai dua sampai tiga *posterior cell*. Kaki terdiri dari femur, tibia, tarsus dan kuku. Bagian

abdomen, bersegmen, warna abu-abu hijau mengkilat. Pada segmen terakhir terdapat ovipositor.

c. Siklus Hidup

Lalat tsetse mengalami metamorfosis sempurna yang terdiri dari empat tahapan sebagai berikut.

- 1) Stadium telur
Berbeda dengan siklus hidup lalat pada umumnya, siklus hidup lalat tsetse bisa dibilang unik karena pada saat sudah waktunya bertelur, induk lalat tsetse akan tetap menyimpan telur tersebut di dalam tubuhnya hingga telur tersebut menetas menjadi larva. Telur dalam uterus menetas selang 3–4 hari.
- 2) Stadium larva
Larva yang baru menetas akan tetap berada di dalam tubuh induknya dan hidup dengan cara mengonsumsi senyawa menyerupai cairan susu yang dihasilkan oleh kelenjar di tubuh induknya. Setelah larva tumbuh menjadi lebih besar, larva lalat tsetse akan lahir dan keluar dari tubuh induknya. Namun, masa hidup larva di dunia luar relatif singkat, hanya dalam waktu beberapa jam setelah itu, mereka akan segera mencari tempat untuk berlindung karena pada fase berikutnya mereka akan mengubah dirinya menjadi pupa atau kepompong.
- 3) Stadium pupa
Setelah beberapa saat menjalani fase kepompong, akhirnya keluarlah lalat dewasa dari kepompong tersebut.
- 4) Stadium dewasa
Lalat tsetse dewasa hanya dapat bertahan hidup ketika selalu mendapat makanan dari mengisap darah mamalia. Usia rata-rata untuk bertahan hidup adalah hingga empat bulan. Lalat ini dilengkapi dengan *proboscis* panjang yang digunakan untuk menembus tubuh inangnya. Pada saat lalat tsetse mengisap darah, saat itu pulalah mikroorganisme parasit genus *Trypanosoma* ditransmisikan dan menginfeksi inangnya.

d. Kebiasaan Hidup

Kelompok *palpalis* berasosiasi dengan ekologi sungai dan biasanya ditemukan di dekat selokan, sungai, dan danau. Genus ini memiliki sekitar 30 spesies atau subspecies yang ditemukan di subsahara Afrika.

e. Tempat Perindukan

Glossina morsitans dapat ditemukan di sabana selama musim hujan, tetapi di musim kemarau, lalat lebih menyukai daerah berhutan yang teduh. Mereka selalu tetap berada di dataran rendah karena ketidakaktifannya pada temperatur di bawah 18°C.

f. Kebiasaan Makan

Glossina morsitans bersifat diurnal dan hanya aktif antara suhu 18°C–32°C. Lalat tsetse makan darah dari hewan yang beragam, seperti kadal dan *hippopotami*. Tidak ada dimorfisme seksual pada kebiasaan makan *G. morsitans*, kecuali bahwa betina harus makan lebih banyak untuk mempertahankan larva besar. Kedua jenis kelamin makan secara eksklusif dengan darah dan menghasilkan antikoagulan untuk mencegah pembekuan. Mereka lebih memilih darah babi, tapi juga memakan ternak, permainan liar, dan manusia.

3. Lalat Pasir (*Phlebotomus*)

a. Klasifikasi

Kingdom	: Animalia
Filum	: Artropoda
Kelas	: Insekta
Ordo	: Diptera
Famili	: Psychodidae
Genus	: <i>Phlebotomus</i>
Spesies	: <i>Phlebotomus papatasi</i> , <i>P. sergenti</i>

b. Morfologi

Lalat pasir memiliki ukuran 1,5–5 mm, berwarna kuning tua, badan berbulu, tubuh dan sayap berambut, berbadan bengkok, dan mempunyai mata faset yang besar pada kepala. Tubuh lalat pasir terbagi atas kepala, toraks, dan abdomen yang bersegmen.

Bagian kepala lalat pasir, di samping mata faset yang besar, terdapat sepasang antena yang berbulu lebat, *palpa*, dan *proboscis* yang terdiri atas labium yang berdaging, mandibula, dan *maxilla* yang seperti pedang dengan gigi-gigi, *hypopharynx* dengan saluran ludah, dan labrum epifaring berambut.

Bagian toraks berbentuk bengkok, memiliki sepasang halter, tiga pasang kaki yang panjang, dan sepasang sayap yang bervenasi sejajar. Bagian abdomen ditumbuhi rambut. Pada segmen terakhir lalat betina dan lalat jantan terdapat *hypopigium*.

c. Siklus Hidup

Siklus hidup dari lalat pasir dijelaskan sebagai berikut.

1) Stadium telur

Telur lalat pasir berukuran kecil, berbentuk oval, berwarna cokelat hitam, tidak tahan kering, diletakkan terpisah pada bebatuan atau lubang pada tanah yang lembap. Telur diletakkan dengan cara berkelompok, dengan jumlah telur 30–50 butir.

2) Stadium larva

Larva lalat pasir mempunyai 4 stadium, berbentuk silindris, memanjang, punya kepala warna hitam, abdomen bersegmen, dan mempunyai kaki palsu pada tiap segmen abdomen. Bagian *post-abdomen* terdapat dua pasang rambut panjang yang disebut *caudal bristle/caudal setae*. Larva mendapat makanan dari bahan organik, seperti kotoran binatang, tinja manusia, dan sampah.

3) Stadium pupa

Pada pupa, ujung abdomen terdapat dua pasang *caudal bristle* dan sisa kulit yang tidak dilepas seluruhnya. Pupa menjadi dewasa berlangsung selama 6–14 hari.

4) Stadium dewasa

Lalat jantan dan betina mengisap cairan tumbuhan. Namun, pada malam hari, lalat betina terkadang mengisap darah hewan vertebrata di luar rumah (*exophagic*) atau di dalam rumah (*endophagic*). Beberapa spesies mengisap darah hanya sekali selama hidupnya dan ada spesies mengisap darah berulang-ulang sebelum bertelur, aktif pada malam hari. Jarak terbang lalat pasir pendek sehingga penyebaran tidak luas. Lalat pasir suka bersembunyi di tempat terlindung.

d. Bionomik *Phlebotomus*

Bionomik lalat pasir (*phlebotomus*) dijelaskan sebagai berikut.

1) Kebiasaan hidup

Lalat pasir suka bersembunyi di tempat terlindung dan banyak ditemukan di gurun pasir (savana).

2) Tempat perindukan

Tempat yang disenangi lalat pasir adalah tanah yang lembap dan gelap.

3) Jarak terbang

Jarak terbang pendek sehingga penyebarannya tidak luas.

4) Kebiasaan makan

Lalat jantan dan betina mengisap tumbuhan. Namun, pada malam hari, lalat betina terkadang mengisap darah hewan vertebrata di luar rumah (*exophagic*) atau di dalam rumah (*endophagic*).

3. *Chrysomya bezziana*

a. Klasifikasi

Kingdom	: Animalia
Filum	: Artropoda
Kelas	: Insekta
Ordo	: Diptera

Famili : Calliphoridae
Genus : *Chrysomya*
Spesies : *Chrysomya bezziana*

b. Morfologi

Lalat *C. bezziana* berwarna biru metalik, biru keunguan, atau biru kehijauan. Kepala lalat ini berwarna oranye dengan mata berwarna merah gelap. Perbedaan antara lalat betina dan jantan terletak pada matanya. Lalat betina memiliki celah yang memisahkan mata kanan dan kiri lebih lebar dibandingkan lalat jantan. Ukuran lalat ini bervariasi, tergantung pada ukuran larvanya. Panjang tubuhnya rata-rata 10 mm dengan lebar kepala rata-rata 4,1 mm. Tidak ada tanda-tanda makroskopis yang khas untuk dapat mengenalinya dengan kasat mata sehingga identifikasi hanya dapat dilakukan melalui pemeriksaan mikroskopis.

Telur *Chrysomya bezziana* berwarna putih transparan dengan panjang 1,25 mm dan berdiameter 0,26 mm, berbentuk silindris, serta tumpul pada kedua ujungnya. Larva *C. bezziana* terbagi menjadi tiga instar, yaitu L1, L2, dan L3. Larva ini mempunyai 12 segmen, yaitu satu segmen kepala, tiga segmen toraks, dan delapan segmen abdominal. Ketiga instar tersebut dapat dibedakan dari panjang tubuh dan warnanya. Panjang L1 adalah 1,6 mm dengan diameter 0,25 mm dan berwarna putih, sedangkan L2 mempunyai panjang 3,5–5,5 mm dengan diameter 0,5–0,75 mm dan berwarna putih sampai krem. Adapun panjang L3 mencapai 6,1–15,7 mm dengan diameter 1,1–3,6 mm. L3 muda berwarna krem dan saat telah dewasa berwarna merah muda.

Tubuh larva dilengkapi bentukan duri dengan arah condong ke belakang. *Spiracle* anterior mempunyai empat sampai enam papila, sedangkan *spracle* posterior dilengkapi tiga celah dengan *peritreme* yang kuat dan berwarna kehitaman. Saat akan menjadi pupa, L3 berubah warna menjadi cokelat hingga hitam dengan panjang rata-rata 10,1 mm yang berdiameter 3,6 mm.

c. Siklus Hidup

Siklus hidup dari *Chrysomya bezziana* dijelaskan sebagai berikut.

1) Stadium telur

Lalat betina akan meletakkan kumpulan telurnya di tepi luka pada sore hari atau menjelang petang dalam waktu sekitar 4,1 menit. Jumlah telur yang dikeluarkan oleh lalat betina berkisar antara 95 sampai 245 (rata-rata 180 telur). Telur akan menetas menjadi L1 dalam waktu 12–24 jam atau sepuluh jam pada temperatur 30°C. Telur *C. bezziana* berwarna putih transparan dengan panjang 1,25 mm dan berdiameter 0,26 mm, berbentuk silindris, serta tumpul pada kedua ujungnya.

2) Stadium larva

Larva instar I menuju ke daerah luka yang basah. Sehari kemudian, larva instar I akan berubah menjadi larva instar II dan mulai membuat terowongan yang lebih dalam di daerah luka tersebut dengan cara masuk ke dalam jaringan inang. Larva instar II akan berkembang menjadi larva instar III pada hari keempat, larva bermigrasi keluar dari daerah luka tersebut dan jatuh ke tanah. Larva tersebut akan membuat terowongan sepanjang 2–3 cm untuk menghindari sinar matahari secara langsung. Larva akan membentuk pupa dalam waktu 24 jam pada temperatur 28°C. Penetasan lalat dari pupa sangat tergantung dari lingkungan.

3) Stadium pupa

Larva akan membentuk pupa dalam waktu 24 jam pada temperatur 28°C. Penetasan lalat dari pupa sangat tergantung dari lingkungan. Pupa akan menetas menjadi lalat dalam seminggu pada temperatur 25°C–30°C, sedangkan pada temperatur yang lebih rendah akan lebih lama bahkan sampai berbulan-bulan.

4) Stadium dewasa

Lalat jantan dan betina mempunyai daya tahan hidup yang relatif sama, yaitu 15 hari dalam kondisi laboratorium, hingga empat puluh hari.

d. Bionomik *Chrysomya bezziana*

Bionomik *Chrysomya bezziana* dijelaskan sebagai berikut.

- 1) Kebiasaan hidup
Kelompok *palpalis* berasosiasi dengan ekologi sungai dan biasanya ditemukan di dekat selokan, sungai, dan danau.
- 2) Tempat perindukan
Tempat yang disenangi adalah tempat basah seperti sampah basah, kotoran binatang, tumbuh-tumbuhan busuk, dan kotoran yang menumpuk secara kumulatif/di kandang. Kotoran binatang (kuda, sapi, ayam, dan babi), kotoran manusia, saluran air kotor, sampah, kotoran got yang membusuk, buah-buahan, sayuran busuk, dan biji-bijian busuk juga menjadi tempat yang disenangi lalat.
- 3) Jarak terbang
Jarak terbang lalat sangat tergantung pada adanya makanan yang tersedia, rata-rata 6–9 km, kadang-kadang dapat mencapai 19–20 km dari tempat berkembang biak.
- 4) Kebiasaan makan
Lalat dewasa sangat aktif sepanjang hari, terutama pada pagi-sore hari. Lalat makan paling sedikit 2–3 kali sehari. Lalat sangat tertarik pada makanan yang dimakan oleh manusia sehari-hari seperti gula, susu dan makanan lainnya, kotoran manusia, serta darah. Protein diperlukan untuk bertelur. Sehubungan dengan bentuk mulutnya, lalat hanya makan dalam bentuk cair atau makanan yang basah, sedangkan makanan yang kering akan dibasahi atau dicairkan oleh ludahnya terlebih dahulu baru diisap. Air merupakan hal yang sangat penting dalam hidup lalat. Tanpa air, lalat hanya hidup 48 jam saja.
Makanan yang berbentuk padat dengan diameter lebih besar dari 0,045 mm, sebelum diisap, akan dicairkan terlebih dahulu dengan cara mengeluarkan cairan dari mulutnya yang mengandung enzim, seperti halnya butir-butir gula pasir yang dilarutkan dengan air liurnya, kemudian larutan gula diisap.

5) Tempat istirahat

Pada waktu hinggap, lalat mengeluarkan ludah dan tinja yang membentuk titik hitam. Tanda-tanda ini merupakan hal yang penting untuk mengenal tempat lalat istirahat. Lalat beristirahat pada tempat-tempat tertentu. Pada siang hari, bila lalat tidak makan, mereka akan beristirahat pada lantai, dinding, langit-langit, jemuran pakaian, rumput-rumput, kawat listrik, dan lain-lain serta sangat menyukai tempat-tempat dengan tepi tajam yang permukaannya vertikal. Biasanya tempat istirahat ini terletak berdekatan dengan tempat makanan atau tempat berbiak dan terlindung dari angin. Di rumah, lalat beristirahat pada kawat listrik, langit-langit, lantai, jemuran dan dinding, serta tidak aktif pada malam hari. Tempat hinggap lalat biasanya tidak lebih dari lima meter.

6) Lama hidup

Lama hidup lalat sangat tergantung pada makanan, air, dan suhu. Pada musim panas, umur lalat berkisar antara 2–4 minggu, sedangkan pada musim dingin biasanya mencapai 70 hari.

7) Temperatur dan kelembapan

Lalat mulai aktif beraktivitas pada temperatur 15°C dan aktivitas optimumnya pada temperatur 21°C. Lalat memerlukan temperatur sekitar 35°C–40°C untuk beristirahat. Pada temperatur di bawah 10°C, lalat tidak aktif dan di atas 45°C terjadi kematian pada lalat. Kelembapan erat hubungannya dengan suhu setempat. Kelembapan berbanding terbalik dengan suhu. Jumlah lalat pada musim hujan lebih banyak daripada musim panas. Lalat sangat sensitif terhadap angin yang kencang sehingga kurang aktif untuk keluar mencari makanan pada waktu kecepatan angin tinggi.

8) Sinar

Lalat merupakan serangga yang bersifat fototropik, yaitu menyukai cahaya. Pada malam hari, alat tidak aktif, tetapi dapat aktif dengan adanya sinar buatan. Efek sinar pada lalat tergantung pada suhu dan kelembapan. Jumlah lalat akan

meningkat pada temperatur 20°C–25°C dan akan berkurang pada temperatur <10°C atau >49°C serta kelembapan yang optimum 90%.

9) Warna dan aroma

Lalat tertarik pada cahaya terang seperti warna putih dan kuning, tetapi takut pada warna biru. Lalat tertarik pada bau atau aroma tertentu, termasuk bau busuk dan esens buah. Bau sangat berpengaruh pada alat indra penciuman, di mana bau merupakan stimulus utama yang menuntun serangga dalam mencari makanannya, terutama bau menyengat. Organ kemoreseptor terletak pada antena sehingga serangga dapat menemukan arah datangnya bau.

B. PERMASALAHAN KESEHATAN

1. Lalat Rumah (*Musca domestica*)

Berbagai macam mikroorganisme yang dapat ditularkan oleh *Musca domestica* adalah cacing-cacing usus, yaitu *Ascaris lumbricoides*, cacing tambang, *Trichuris trichiura*, *Oxyuris vermicularis*, *Tania saginata*, serta *Tania solium*. Selain itu, *Musca domestica* juga menularkan protozoa-protozoa usus, yaitu *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia*, dan *Balantidium coli*, bakteri-bakteri usus, misalnya *Salmonella*, *Shigella*, dan *Escheria coli*, virus polio, *Treponema pertenu* penyebab frambusia. Selain itu, stadium larva dari *Musca domestica* bersifat infeksiif dengan mikroorganisme penyebab penyakit misalnya dengan telur *Ascaris*, spora *Anthrax*, dan *Clostridium tetani*. Pada waktu menjadi serangga dewasa, lalat akan tetap infeksiif dengan mikroorganisme tersebut. Beberapa penyakit saluran pencernaan yang ditularkan oleh lalat rumah, yakni disentri, diare, demam tifoid, dan kolera.

- 1) *M. domestica* sebagai vektor pembawa *Giardia lamblia*.
- 2) *M. domestica* sebagai vektor pembawa *Yersinia pseudotuberculosis*.
- 3) *M. domestica* sebagai vektor pembawa *Campylobacter* spp., dan *Escherichia coli*.

M. domestica mampu menyebarkan *Campylobacter* spp., penyebab utama enteritis. *Escherichia coli* O157:H7 sebagai penyebab utama *Haemorrhagic colitis* dan menjadi salah satu penyakit yang paling penting yang disebabkan karena kontaminasi makanan (Szalanski et al., 2004).

M. domestica sebagai vektor pembawa *Cryptosporidium parvum*. *C. parvum* dapat menyebabkan *cryptosporidiosis*, suatu *emerging disease* pada manusia dan hewan. *Cryptosporidium* sp., adalah parasit protozoa penyebab infeksi, terutama pada saluran pencernaan, dan dapat meluas ke dalam saluran pernapasan, dan jaringan epitel ginjal vertebrata. Penyebaran protozoa ini cepat karena melewati rute *fecal-oral* atau sering disebut *water borne disease/food borne disease*.

M. domestica dewasa yang hinggap pada media yang terkontaminasi oleh ookista *C. parvum*, akan mengandung ookista *C. parvum*. Demikian pula pada stadium larva dan pupa yang dihasilkannya. Lalat *M. domestica* yang dipapar dengan feses sapi penderita diare, kemudian dideteksi antibodinya terhadap *C. parvum* secara *immunoflouresent* pada eksoskeleton dan saluran usus lalat menunjukkan hasil positif.

- 1) *M. domestica* sebagai vektor pembawa *Helicobacter pylori*
Helicobacter pylori adalah agen penyakit yang menjadi penyebab utama *gastroduodenal*, meliputi gastritis kronis tipe B, *ulcera duodenal*, dan adenokarsinoma lambung. Grubel et al., (1997) telah meneliti peran *M. domestica* sebagai vektor *H. pylori*. Lalat rumah berkembang biak, makan di tempat kotor, dan mampu mencernakan *H. pylori* sehingga ekskretanya mencemari lingkungan manusia, termasuk makanan. *H. pylori* dapat diisolasi dari eksoskeleton sampai 12 jam dan dari saluran usus serta ekskreta sampai 30 jam. Penyebaran agen penyakit ini cepat karena melewati rute *fecal-oral*, *oral-oral*, atau lingkungan sebagai sumber penularan. Analisis histologi mengungkapkan bahwa organisme yang mirip *Helicobacter* ada di dalam lumen saluran usus lalat.

Menurut Grubel et al., (1997), lalat sebagai reservoir dan vektor penting dalam penularan *H. Pylori*. *H. pylori* mengalami

replikasi di dalam saluran usus lalat. Saluran usus lalat mampu berfungsi sebagai media yang dapat memelihara kelangsungan hidup *H. pylori*. Kemampuan lalat ini didukung oleh keadaan saluran usus bagian tengah yang memiliki sifat asam dengan pH 3,1. Pada pH yang rendah ini ada aktivitas enzim pepsin dan *lysozyme*. Pada bagian ini juga memiliki sel *oxyntic* yang secara morfologi mirip dengan sel parietal lambung mamalia. Pada penelitian oleh Gruber tersebut, jumlah bakteri dikurangi dengan mencuci pupa dengan larutan *phenol*. Hasil menunjukkan sekitar 85% lalat masih mengandung bakteri pada saat kemunculannya dari pupa. Lalat secara alami dapat memindahkan *H. Pylori*. Hal ini terjadi terutama di negara berkembang dengan fasilitas umum dan kebersihan lingkungan yang jelek.

2. Lalat Tsetse (*Glossina*)

Lalat tsetse merupakan vektor penyebab penyakit *sleeping sickness* (penyakit tidur). Penyakit ini disebabkan oleh golongan protozoa *Trypanosome gambiense*. Vektornya adalah lalat *Glossina* sp.

3. Lalat Pasir (*Phlebotomus*)

Lalat pasir (*Phlebotomus*) merupakan vektor penyakit *leishmaniasis*. Penyakit *leishmaniasis* merupakan penyakit yang disebabkan oleh golongan protozoa, yaitu *Leishmania tropica*. Vektornya adalah lalat pengisap darah *Phlebotomus*. Gejalanya adalah terjadinya kupula di tempat gigitan, kulit tertutupi kerak, dan keluarnya *exudate* yang lengket, serta terjadinya kerusakan jaringan. Upaya pencegahannya adalah dengan penutupan kulit dan pemberantasan serangga.

4. Lalat *Chrysomya bezziana*

Lalat *Chrysomya bezziana* merupakan vektor penyebab penyakit miasis (*myiasis*). Miasis adalah infestasi larva lalat pada jaringan atau organ tubuh manusia atau hewan yang masih hidup untuk jangka waktu

tertentu. Larva lalat tersebut memakan jaringan yang masih sehat ataupun sisa-sisa jaringan yang telah mati. Miasis dapat menimbulkan kerusakan jaringan atau organ tubuh manusia, misalnya lalat *Chrysomya bezziana* betina yang sering hinggap pada telinga anak-anak. Sambil mengisap cairan nanah telinga, lalat ini akan bertelur, telur menetas keluar larva, dan akan masuk lebih dalam untuk menjadi dewasa.

Patogenesis *myiasis* pada hewan dan manusia tidak berbeda. Awal terjadinya *myiasis* adalah apabila manusia atau hewan mengalami luka akibat berkelahi atau tersayat benda tajam. Bau darah segar yang mengalir akan menarik lalat betina untuk meletakkan telurnya ke luka tersebut. Dalam waktu 12–24 jam, telur akan menetas menjadi larva dan bergerak masuk ke dalam jaringan. Aktivitas larva di dalam jaringan tubuh mengakibatkan luka makin besar dan kerusakan jaringan akan makin parah. Gejala klinis *myiasis* sangat bervariasi dan tidak spesifik, bergantung pada bagian tubuh yang di infestasi larva. Gejala umum yang terjadi pada *myiasis* manusia, antara lain, demam, gatal-gatal, sakit kepala, vertigo, eritema, radang, pendarahan, serta memicu terjadinya infeksi sekunder oleh bakteri.

Jenis-jenis *myiasis* berdasarkan lokasi ditemukannya larva lalat *Chrysomya bezziana* adalah sebagai berikut.

- 1) *Myiasis* pada luka. *Myiasis* jenis ini sering terjadi karena adanya luka meradang dan berbau atau luka karena penyakit spesifik, seperti sifilis, lepra, dan penyakit lainnya. Luka tersebut merupakan tempat yang menarik untuk bertelur.
- 2) *Myiasis* pada hidung. *Myiasis* jenis ini terjadi karena lalat meletakkan telurnya pada membran mukosa yang luka di rongga hidung. Penderita sering mengatakan bahwa hidungnya kemasukan lalat. Infestasi larva menyebabkan hidung dan muka membengkak. Apabila tidak diobati, larva dapat bergerak ke atas dan masuk ke saluran air mata, selanjutnya merusak tulang rawan dan tulang septum, menghancurkan *os* nasal dan *os frontal*. Selain itu, larva dapat masuk ke dalam paranasal, bahkan menembus dasar tengkorak dan menyebabkan meningitis sampai kematian.

- 3) *Myiasis* pada telinga. *Myiasis* jenis ini sering terjadi sebagai komplikasi *myiasis* hidung dan mulut. Larva dapat masuk ke dalam telinga melalui tuba *Eustachius*. *Myiasis* telinga juga dapat terjadi secara primer, umumnya terdapat luka atau nanah di liang telinga yang menarik lalat untuk bertelur. Larva mampu menembus gendang telinga dan masuk ke telinga tengah. Kondisi ini akan menimbulkan iritasi dan rasa sakit yang hebat di telinga, bahkan menyebabkan tinitus dan vertigo.
- 4) *Myiasis* pada mata. Umumnya timbul sebagai komplikasi dari *myiasis* hidung dan mulut, tetapi dapat juga terjadi secara sendiri. Dinamakan oftalmomiasis eksterna bila bola mata tidak terkena, sedangkan oftalmomiasis interna anterior bila larva menginfestasi bilik mata depan dan oftalmomiasis posterior bila larva sampai ke bilik mata belakang. Jika *myiasis* mata tidak diobati, larva mampu menghancurkan seluruh bola mata.
- 5) *Myiasis* pada kulit. Ketika lalat bertelur di permukaan kulit, larva akan masuk ke dalam kulit yang sehat melalui folikel rambut atau melalui luka akibat trauma atau sebab lainnya. Larva mungkin akan berdiam di tempat masuk pada kulit dan menimbulkan sebuah bisul di tempat tersebut.
- 6) *Myiasis* saluran cerna. *Myiasis* jenis ini terjadi karena termakan makanan yang mengandung telur atau larva lalat. Keadaan tersebut dapat disertai dengan gastroenteritis akut.
- 7) *Myiasis* urogenital. Ketika larva masuk ke alat kelamin melalui air yang terkontaminasi oleh telur ataupun larva lalat. Larva lalat yang berada dalam air akan masuk ke dalam alat kelamin karena mereka mencari tempat yang lembap untuk berkembang biak.

Di samping jenis-jenis *myiasis* di atas, beberapa jenis lainnya juga dilaporkan, seperti *myiasis* anus, vagina, saluran dan kandung kemih, mulut, faring, serta laring. Kasus-kasus di atas pernah terjadi dilaporkan, baik di Indonesia maupun di luar negeri. Pengobatan *myiasis* intestinal/saluran cerna dengan menggunakan obat cacing dan dengan cuci perut.

C. PENCEGAHAN DAN PENGENDALIAN

1. Pencegahan

Untuk mencegah terjadinya kontak dengan lalat, dapat dilakukan beberapa tindakan sebagai berikut.

- 1) Memakai baju tertutup untuk menghindari kontak dengan lalat.
- 2) Jika ada luka, luka tersebut harus ditutup guna menghindari kontak dengan lalat.
- 3) Sayur, buah, dan daging segar dicuci dahulu sebelum diolah.
- 4) Tutup makanan matang sehingga tidak dihindangi oleh lalat.

2. Pengendalian

Pada dasarnya, tindakan pengendalian terhadap lalat dapat dilakukan secara tidak langsung dengan perbaikan kebersihan dan sanitasi lingkungan, sedangkan secara langsung dengan cara fisik, kimia, dan biologi.

a. Perbaikan Kebersihan dan Sanitasi Lingkungan

Tindakan pengendalian yang dapat dilakukan, antara lain, dengan menghilangkan tempat perindukan lalat atau mengurangi sumber yang menarik lalat, misalnya dengan membersihkan kandang ternak/burung, kotoran ternak/burung dikeluarkan dan dibersihkan secara rutin, membuat saluran air limbah (SPAL) yang tertutup. Untuk industri yang menggunakan produk yang dapat menarik lalat, dilakukan pemasangan alat pembuang bau (*exhaust*). Selain itu, tindakan pengendalian juga dapat dilakukan dengan melindungi makanan atau peralatan makan dari kontak dengan lalat atau mencegah kontak antara lalat dengan kotoran yang mengandung kuman penyakit, misalnya dengan membuat konstruksi jamban yang memenuhi syarat.

b. Pengendalian Secara Langsung

1) Cara fisik

Cara pemberantasan secara fisik adalah cara yang mudah dan aman, tetapi kurang efektif apabila lalat dalam kepadatan yang tinggi. Cara ini hanya cocok untuk digunakan pada skala kecil, seperti di rumah sakit, kantor, hotel, *supermarket*, dan pertokoan lainnya yang menjual daging, sayuran, serta buah-buahan. Beberapa cara fisik yang dapat dilakukan antara lain

a) Perangkap lalat (*fly trap*)

Lalat dalam jumlah yang besar/padat dapat ditangkap dengan alat ini. Perangkap ini dapat dibuat sendiri dan memanfaatkan umpan dari sisa-sisa atau sampah makanan di rumah tangga. Model perangkap ini terdiri dari kontainer plastik/kaleng, umpan, penutup kayu/plastik dengan celah kecil, dan sangkar di atas penutup. Bahan-bahan tersebut dirangkai sedemikian rupa membentuk perangkap lalat. Lalat akan tertarik dengan bau umpan dan akan masuk serta terjebak di dalam perangkap. Alat ini harus ditempatkan di udara terbuka, di bawah sinar cerah matahari, jauh dari keteduhan pepohonan.

b) Umpan kertas lengket berbentuk pita/lembaran (*sticky tapes*)

Alat ini tersedia di pasaran, menggantung di atap, menarik lalat karena kandungan gulanya. Lalat hinggap pada alat ini dan akan terperangkap oleh lem. Alat ini dapat berfungsi beberapa minggu bila tidak tertutup sepenuhnya oleh debu atau lalat yang terperangkap.

c) Perangkap dan pembunuh elektronik (*light trap with electrocutor*)

Lalat yang tertarik pada cahaya akan terbunuh setelah kontak dengan jeruji yang bermuatan listrik. Sinar bias dan ultraviolet menarik lalat hijau (*blow flies*), tetapi tidak terlalu efektif untuk lalat rumah. Alat ini kadang digunakan di dapur rumah sakit dan restoran.

- d) Pemasangan kasa kawat/plastik
Biasanya kasa kawat/plastik dipasang pada pintu dan jendela serta lubang angin/ventilasi.
 - e) Membuat pintu dua lapis
Daun pintu pertama ke arah luar dan lapisan kedua merupakan pintu kasa yang dapat membuka dan menutup sendiri.
- 2) Cara kimia
- Pemberantasan lalat dengan insektisida harus dilakukan hanya untuk periode yang singkat apabila sangat diperlukan karena dapat terjadi resistensi serangga sasaran. Aplikasi yang efektif dari insektisida dapat secara sementara memberantas lalat dengan cepat. Biasanya, pengendalian secara kimia dilakukan apabila terjadi kejadian luar biasa kolera, disentri, atau trakom. Penggunaan pestisida ini dapat dilakukan melalui cara umpan (*baits*), penyemprotan dengan efek residu (*residual spraying*), dan pengasapan (*space spraying*).
- 3) Cara biologi
- Cara biologi misalnya dengan memanfaatkan sejenis semut kecil berwarna hitam (*Phiedoloqelon affinis*) dan parasitoid (tawon kecil) untuk mengurangi populasi lalat rumah ditempat-tempat sampah. Cara ini sering dilakukan di Filipina.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Bab 11

KECOAK DAN PENGENDALIANNYA

A. BIOLOGI KECOAK

Kecoak merupakan salah satu organisme tertua di bumi, berasal dari Zaman Karbon, lebih dari 250 juta tahun yang lalu. Kecoak tidak memiliki adaptasi khusus, misalnya memiliki mulut pengisap seperti pada beberapa serangga lain (kutu daun dan serangga sejati lainnya). Lebih dari 4.500 spesies kecoak telah diidentifikasi, di mana 40 spesies terkait dengan kehidupan manusia. Empat spesies kecoak dikenal sebagai hama, yakni *Periplaneta americana*, *Blatella germanica*, *Blatta orientalis*, dan *Supella supellectilium* (Fakoorziba et al., 2010).

Kecoak memiliki bagian mulut tipe mengunyah dan memakan berbagai bahan makanan (omnivora) yang membuat serangga ini berperan dalam transmisi mekanis dari berbagai virus patogen, bakteri, dan protozoa kepada manusia. Distribusi kecoak hampir di seluruh dunia, terutama di daerah tropis dan subtropis dan dapat menoleransi berbagai lingkungan, mulai dari arktik dingin sampai panas daerah tropis. Populasi kecoak meningkat di tempat-tempat yang panas dan lembap, terutama dengan adanya ketersediaan makanan dan air (Zahraei-Ramazani et al., 2018).

Klasifikasi dari keempat spesies kecoak yang paling umum menjadi vektor penyakit sebagai berikut.

- 1) *Periplaneta americana*
Berikut ini adalah klasifikasi *Periplaneta americana* dalam Romoser (1973), sebagai berikut.
Kingdom : Animalia
Filum : Artropoda
Kelas : Insekta
Ordo : Ortoptera
Familia : Blattidae
Genus : *Periplaneta*
Spesies : *Periplaneta americana*
- 2) *Blattella germanica*
Berikut ini adalah klasifikasi *Blattella germanica* dalam Romoser (1973), sebagai berikut.
Kingdom : Animalia
Filum : Artropoda
Kelas : Insekta
Ordo : Ortoptera
Familia : Blattellidae
Genus : *Blattella*
Spesies : *Blattella germanica*
- 3) *Blatta orientalis*
Berikut ini adalah klasifikasi *Blatta orientalis* dalam Romoser (1973), sebagai berikut.
Kingdom : Animalia
Filum : Artropoda
Kelas : Insekta
Ordo : Ortoptera
Familia : Blattidae
Genus : *Blatta*
Spesies : *Blatta orientalis*
- 4) *Supella supellectilium*
Berikut ini adalah klasifikasi *Supella supellectilium* dalam Romoser (1973), sebagai berikut.
Kingdom : Animalia
Filum : Artropoda

Kelas	: Insekta
Ordo	: Ortoptera
Familia	: Blattidae
Genus	: <i>Supella</i>
Spesies	: <i>Supella supellectilium</i>

1. Morfologi Kecoak

Kecoak berbentuk pipih *dorsoventral* dengan potongan tubuh yang halus. Kecoak memiliki tiga bagian tubuh utama, yaitu caput (kepala), toraks (dada), dan abdomen (perut). Kepala tersembunyi di bawah *pronotum*. *Pronotum* dan sayap bertekstur licin, terlihat keras, tidak berambut, dan tidak berduri. Pada bagian kepala terdapat sepasang mata faset, sepasang antena atau alat peraba yang berbentuk *filiform* dan beruas, tiga pasang kaki, dan tiga pasang alat mulut. Pada setiap antena tersebut terdapat sensor suhu, gerakan, dan bau-bauan. Pada mata kecoak terdapat dua ribu lensa dan mata tunggal yang berfungsi untuk mendeteksi cahaya. Alat mulutnya digunakan untuk mengunyah dengan mandibula yang kuat dan sepasang maksila untuk membersihkan antena dan kaki. Mulut kecoak bertipe menggigit dan mengunyah.

Pada segmen toraks terdapat tiga pasang kaki yang digunakan untuk berlari. Bibir belakang berbentuk seperti lengan untuk mendorong setiap potong makanan dan mengujinya apakah bisa dimakan sebelum ditelan. Ukuran tubuh kecoak antara 30–40 mm, warnanya merah/kuning kecokelatan. Pada kecoak jantan, ukuran sayap lebih panjang dibandingkan tubuhnya, sedangkan pada betina, ukuran sayap menutup bagian abdomen.

Kecoak memiliki tiga pasang tungkai yang kuat, terdapat dua sayap pada bagian depan yang mirip dengan kulit, lentur dengan venasi yang jelas. Sayap bagian belakang menyerupai selaput yang menutupi abdomen *anterolateral* dan sayap atas nampak jelas karena bertekstur tebal. Bagian toraks dan lateral pada ruas abdomen dilengkapi dengan sepasang stigma (*spiracle*) untuk bernapas. Pada ruas terakhir

abdomen bagian ventral terdapat alat kelamin yang bentuknya seperti kait panjang pada jantan dan lubang kecil pada betina. Telur kecoak dilindungi oleh selaput keras yang disebut kapsul telur atau *ootheca*. Satu stadium dewasa dapat menghasilkan 4–90 *ootheca*. Ukuran dari kapsul telur ini sekitar 0,5 cm. Perbedaan morfologi beberapa spesies kecoak dijelaskan pada Tabel 11.1.

Tabel 11.1 Perbedaan Morfologi Beberapa Spesies Kecoa

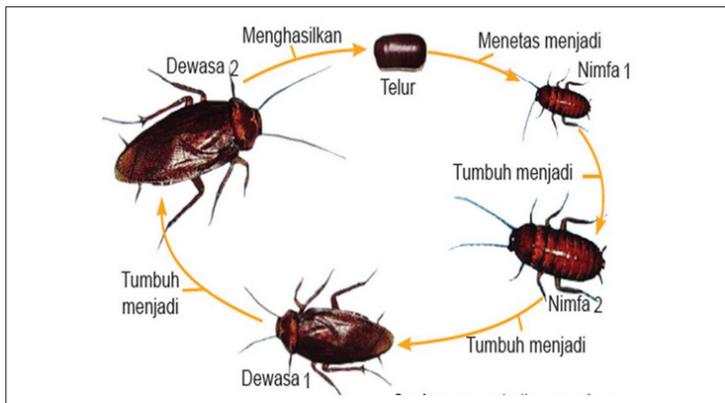
No	Spesies	Ukuran	Warna	Ciri khas	Ukuran Telur	Jumlah Telur
1	<i>Periplaneta americana</i>	3,8 cm	Merah kecokelatan	Mempunyai sayap sebanyak 2 pasang, memiliki serkus yang panjang, tipis, dan runcing seperti cemeti.	8–10 mm	16 butir/kapsul
2	<i>Blatta orientalis</i>	2,5 cm	Hitam cokelat	♂ sayap panjang, ♀ sayap pendek, serkus lebih kokoh, tebal ujungnya runcing tetapi tidak panjang.	10–12 mm	16-18 butir/kapsul
3	<i>Blattella germanica</i>	1,3 cm	Cokelat muda	Terdapat 2 garis pada toraks.	7–9 mm	40 butir/kapsul
4	<i>Supella supelectilium</i>	1,3 cm	Cokelat muda	Tidak terdapat garis pada toraks.	4–5 mm	16 butir/kapsul

Sumber: Diolah dari Wipfler et al. (2022)

2. Siklus Hidup

Kecoak merupakan serangga dengan metamorfosis yang tidak lengkap. Dalam masa hidupnya, kecoak hanya melalui tiga stadium, yaitu stadium telur, stadium nimfa, dan stadium dewasa yang telah dapat dibedakan jenis jantan dan betinanya. Stadium telur kecoak

membutuhkan waktu 30–40 hari untuk menetas. Telur yang telah menetas akan menjadi nimfa yang hidup bebas dan bergerak aktif. Nimfa tersebut akan berkembang melalui beberapa tahapan instar (I–VI instar) sebelum mencapai stadium dewasa. Lamanya stadium nimfa berkisar 5–6 bulan. Nimfa instar I biasanya berwarna putih yang berangsur-angsur menjadi coklat seiring dengan pertumbuhan tahapan instar. Berikut gambaran siklus hidup kecoak (Gambar 11.1).



Sumber: Brainly (2020)

Gambar 11.1 Siklus Hidup Kecoak

B. BIONOMIK KECOAK

Berikut ini dijelaskan beberapa karakteristik dari kecoak.

1) Karakteristik

Kecoak merupakan makhluk omnivora (pemakan segala), mulai dari makanan yang dimakan manusia sampai kotoran manusia, tergantung dari habitat masing-masing spesies. Umumnya, kecoak menyukai makanan yang manis dan berupa tepung. Namun, beberapa spesies kecoak juga memakan kertas-kertas pada buku, lem, sol sepatu, kutikula tubuhnya sendiri, jenis-jenis kecoak lainnya (yang lebih kecil atau telah mati), sputum, darah, hingga bangkai.

2) Waktu aktivitas

Seluruh jenis kecoak merupakan makhluk nokturnal atau makhluk yang aktif pada malam hari. Aktif bergerak pada malam hari merupakan upaya untuk berkeliling mencari makanan. Penyebab sifat nokturnal ini karena mereka lebih adaptif untuk hidup pada daerah gelap. Jika terdapat sinar apapun, kecoak refleksi bersembunyi di celah-celah mebel ataupun celah-celah bangunan.

3) Habitat

Pada umumnya kecoak hidup berkelompok. Habitat kecoak adalah tempat-tempat yang lembap, hangat, dan gelap. Tempat-tempat tersebut berupa celah-celah di sekitar tempat pembuangan di dapur, tempat pembuangan sampah, gudang, lemari makanan, toilet, dan tangki septik. Ada beberapa spesies kecoak yang juga menyukai celah-celah buku di perpustakaan sebagai tempat hidup, seperti *Supella* sp. dan *Neostylopyga rhombifolia*. *Periplaneta americana* dan *Blatta orientalis* umumnya lebih menyukai hidup di tempat yang suhu dan kelembapannya lebih tinggi, seperti basemen bangunan, pipa-pipa kapal, dan celah-celah dapur. Habitat hidup kecoak sangat erat hubungannya dengan ketersediaan makanan masing-masing spesies dari kecoak.

Perilaku kecoak dalam meletakkan kapsul telurnya juga memiliki perbedaan, tergantung jenis spesiesnya. *Periplaneta americana* cenderung meletakkan kapsul telurnya pada sudut-sudut dan celah-celah bangunan atau perabotan, sedangkan untuk jenis lainnya cenderung membawa kapsul telurnya pada bagian ujung ekor-menetas. Spesies yang membawa kapsul telurnya adalah *Blatta orientalis*, *Blatella germanica*, dan *Supella* sp. (Kambhampati, 2008).

Tabel 11.2 Perbedaan Bionomik Kecoak

No	Spesies	Habitat	Jenis Makanan
1	<i>Periplaneta americana</i>	Celah-celah dapur, pipa-pipa kapal	Sampah dapur dan makanan manusia, seperti coklat, keju, dan sisa buangan masakan.
2	<i>Blatta orientalis</i>	kapal	

No	Spesies	Habitat	Jenis Makanan
3	<i>Blattella germanica</i>	Plafon rumah, tangki septik	Kotoran manusia, kotoran-kotoran hewan lain, bangkai.
4	<i>Supella supellectilium</i>	Celah-celah buku	Kertas, lem, dan kutikula-kutikula mati tubuhnya.

Sumber: Diadaptasi dari Wipfler (2022)

C. PERMASALAHAN KESEHATAN AKIBAT KECOAK

Kecoak merupakan hama yang penting diperhatikan karena mereka dapat menyebarkan kotoran dan mengkontaminasi makanan, kain, dan jilidan buku. Kecoak mengeluarkan sebagian makanan yang dicernanya dan juga mengeluarkan feses yang membuat bau relatif lama. Kecoak bergerak bebas dari bangunan ke bangunan atau dari saluran air, kebun, selokan, dan jamban ke tempat tinggal manusia. Karena mereka memakan kotoran dan makanan manusia, mereka dapat menyebarkan kuman penyebab penyakit. Kecoak biasanya bukan penyebab paling sering dari suatu penyakit, tetapi seperti lalat rumah, kecoak mungkin memainkan peran tambahan dalam penyebaran beberapa penyakit. Beberapa penyakit yang diperantarai oleh kecoak, antara lain, diare, disentri, kolera, lepra, sampar/pes, demam tifoid, dan poliomielitis. Kecoak juga dapat membawa telur cacing dan dapat menyebabkan reaksi alergi termasuk dermatitis, gatal, dan bengkaknya kelopak mata. Alergi kecoak pertama kali dilaporkan pada tahun 1943, ketika diketahui bahwa pasien tertentu mengalami ruam kulit, segera setelah serangga merayap di kulit mereka. Tes kulit alergi dikembangkan pada tahun 1959, yang mengonfirmasi alergi kecoak pada pasien. Studi-studi selanjutnya secara tegas menetapkan bahwa alergen kecoak dapat bertindak sebagai pemicu serangan asma akut (World Health Organization [WHO], 2023).

Kecoak tercatat dapat menularkan 40 spesies bakteri, termasuk 25 dari kelompok *Enterobacteriaceae* yang menyebabkan gastroenteritis pada manusia. Kecoak juga berperan sebagai inang perantara (*intermediate host*) bagi agen cacing, virus, fungi, dan protozoa (Tatfeng

Buku ini tidak diperjualbelikan.

et al., 2005). Selain mikroba patogen, pada tubuh kecoak juga terdapat parasit. Parasit tersebut berada di dalam dan bagian luar tubuh kecoak, ditemukan dalam stadium telur dan larva. Adapun spesies nematoda yang ditemukan pada tubuh kecoak, antara lain, *Ascaris lumbricoides*, *Oxyuris vermicularis*, *Trichuris trichiura*, dan cacing tambang.

Meskipun kecoak dapat menggigit, perannya dalam penularannya penyakit terjadi melalui transmisi mekanis, di mana tubuh mereka terkontaminasi dengan bakteri yang kemudian dipindahkan ke permukaan lain yang mereka temui saat kecoak bergerak. Di antara organisme yang diketahui dibawa oleh kecoak adalah *Salmonella* spp., termasuk *Salmonella typhi* yang menyebabkan tifus, *Entamoeba histolytica* yang menyebabkan amoebiasis, *Shigella dysenteriae* yang menyebabkan disentri, dan berpotensi juga polio yang bertanggung jawab atas polio. Spesies lain yang diketahui dibawa oleh kecoak adalah *Proteus* spp., *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermalis*, *Streptococcus faecalis*, dan *Escherichia coli*. Kebiasaan dan struktur tubuh mereka memungkinkan mereka untuk secara potensial menularkan patogen. Kecoa adalah omnivora yang mudah makan dan bergerak di antara sumber makanan, seperti kotoran dan makanan yang ditujukan untuk konsumsi manusia segera. Dalam melakukan hal ini, manusia dapat terpapar patogen yang berpotensi berbahaya melalui permukaan yang terkontaminasi dan produk makanan.

D. PENCEGAHAN DAN PENGENDALIAN KECOAK

Terdapat lima strategi cara pengendalian kecoak, sebagai berikut.

1) Pencegahan

Cara ini termasuk melakukan pemeriksaan secara teliti barang-barang atau bahan makanan yang akan dinaikkan ke atas kapal, serta menutup semua celah-celah, lubang, atau tempat-tempat tersembunyi yang bisa menjadi tempat hidup kecoak dalam dapur, kamar mandi, pintu dan jendela, serta menutup atau memodifikasi instalasi pipa sanitasi. Cara terbaik

dalam mencegah kecoak adalah dengan menjaga kebersihan lingkungan ataupun menyimpan makanan dengan baik.

2) Sanitasi

Cara yang kedua ini termasuk memusnahkan makanan dan tempat tinggal kecoak, antara lain, membersihkan remah-remah atau sisa-sisa makanan di lantai atau rak, segera mencuci peralatan makan setelah dipakai, membersihkan secara rutin tempat-tempat yang menjadi persembunyian kecoak, seperti tempat sampah, di bawah kulkas, kompor, mebel, dan tempat tersembunyi lainnya. Jalan masuk dan tempat hidup kecoak harus ditutup dengan cara memperbaiki pipa yang bocor, membersihkan saluran air (drainase), bak cuci piring, dan wastafel. Pemusnahan tempat hidup kecoak dapat dilakukan juga dengan membersihkan lemari pakaian atau tempat penyimpanan kain, tidak menggantung, atau segera mencuci pakaian kotor dan kain lap kotor.

3) Penangkapan (*trapping*)

Perangkap kecoak yang sudah dijual secara komersial dapat membantu untuk menangkap kecoak dan dapat digunakan untuk alat monitoring. Penempatan perangkap kecoak yang efektif adalah pada sudut-sudut ruangan, di bawah wastafel dan bak cuci piring, di dalam lemari, di dalam basemen, dan pada lantai di bawah pipa saluran air. Jenis insektisida dengan umpan juga sangat umum digunakan di masyarakat. Umpan ini digunakan tanpa perangkap. Umumnya, umpan kecoak terdiri atas makanan dan insektisida dalam bentuk *pellet* atau pasta. Umpan ini akan tertelan oleh kecoak, kemudian mengganggu sistem pencernaan dan sistem hormon yang kemudian akan menyebabkan kematian.

4) Pengendalian dengan bahan kimia (insektisida)

Insektisida yang banyak digunakan untuk pengendalian kecoak, antara lain, *chlordan*, *dieldrin*, *heptachlor*, *lindane*, golongan *organophosphate* majemuk, *diazinon*, *dichlorvos*, *malathion*, dan *runnel*. Penggunaan bahan kimia (insektisida)

ini dilakukan apabila ketiga cara di atas telah dipraktikkan, tetapi tidak berhasil. Di samping itu, diindikasikan bahwa pemakaian insektisida dapat dilakukan jika ketiga cara tersebut (pencegahan, sanitasi, *trapping*) dilakukan dengan cara yang salah atau tidak pernah melakukan sama sekali. Celah-celah atau lubang-lubang dinding, lantai, dan lain-lain merupakan tempat persembunyian yang baik. Lubang-lubang yang demikian hendaknya ditutup/ditiadakan atau diberi insektisida, seperti *sodium fluoride* (beracun bagi manusia), serbuk *pyrethrum* dan *rotenone*, *chlordane* 2,5%, efeknya baik dan tahan lama sehingga kecoak akan keluar dari tempat-tempat persembunyiannya. Tempat-tempat tersebut kemudian diberi serbuk insektisida. Jenis insektisida bubuk dapat diletakan pada sudut-sudut bangunan dan mebel. Untuk larutan dapat disemprotkan ke dalam lubang-lubang dan celah-celah bangunan.

5) Pengendalian fisik

Pemberantasan kecoak dapat dilakukan dengan metode pengendalian fisik, misalnya membunuh langsung kecoak dengan alat pemukul, menyiram tempat perindukan dengan air panas, dan menutup celah-celah dinding. Pembersihan kapsul telur dengan pengendalian mekanis, yaitu dengan mengambil kapsul telur yang terdapat pada dinding kapsul, celah-celah lemari, dimusnahkan dengan membakar, dan menghancurkan.



REFERENSI

- Abbasi, I., Trancoso Lopo de Queiroz, A., Kirstein, O. D., Nasereddin, A., Horwitz, B. Z., Hailu, A., Salah, I., Mota, T. F., Fraga, D. B. M., Veras, P. S. T., Poche, D., Poche, R., Yeszhanov, A., Brodskyn, C., Torres-Poche, Z., & Warburg, A. (2018). Plant-feeding phlebotomine sand flies, vectors of leishmaniasis, prefer *Cannabis sativa*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(46), 11790–11795. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810435115>
- Achee, N. L., Bangs, M. J., Farlow, R., Killeen, G. F., Lindsay, S., Logan, J. G., Moore, S. J., Rowland, M., Sweeney, K., Torr, S. J., Zwiebel, L. J., & Grieco, J. P. (2012). Spatial repellents: from discovery and development to evidence-based validation. *Malaria journal*, 11, 164(1). <https://doi.org/10.1186/1475-2875-11-164>.
- Amusca. (2024t.t.). *Musca domestica* (house fly). *Amusca*. Diakses pada 16 Febuari, 2023, dari https://amusca.com/CMS/Musca_Domestica_housefly_/show.do?ctx=7817,4375737
- Atkinson, P.W. (2010). *Vector Biology, Ecology, and Control*. Springer.
- Ault S. K. (1994). Environmental management: a re-emerging vector control strategy. *The American journal of tropical medicine*

and hygiene, 50(6 Suppl), 35–49. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.1994.50.35>

- Bellinato, D. F., Viana-Medeiros, P. F., Araújo, S. C., Martins, A. J., Lima, J. B., & Valle, D. (2016). Resistance Status to the Insecticides Temephos, Deltamethrin, and Diflubenzuron in Brazilian *Aedes aegypti* Populations. *BioMed research international*, 2016, 1–12.8603263. <https://doi.org/10.1155/2016/8603263>
- Brainly. (20242020, 19 Desember). Siklus Hidup Kecoa. *Brainly*. Diakses pada 18 Juni, 2023, dari <https://brainly.co.id/tugas/37219291>
- Buchori, D., Mawan, A., Nurhayati, I., Aryati, A., Kusnanto, H., & Hadi, U. K. (2022). Risk Assessment on the Release of Wolbachia-Infected *Aedes aegypti* in Yogyakarta, Indonesia. *Insects*, 13(10), 924. <https://doi.org/10.3390/insects13100924>
- Centers for Disease Control and Prevention. (2024a). Life Cycle of *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus* Mosquitoes. *CDC*. Diakses pada 23 Januari, 2024, dari <https://www.cdc.gov/mosquitoes/about/life-cycles/aedes.html>
- Centers for Disease Control and Prevention. (2024b). Mosquito Life Cycle. *CDC*. Diakses pada 12 Februari, 2024, dari <https://www.cdc.gov/dengue/resources/factsheets/mosquitolifecyclefinal.pdf>
- Chareonviriyaphap, T., Bangs, M. J., Suwonkerd, W., Kongmee, M., Corbel, V., & Ngoen-Klan, R. (2013). Review of insecticide resistance and behavioral avoidance of vectors of human diseases in Thailand. *Parasites & vVectors*, 6, 280(1). <https://doi.org/10.1186/1756-3305-6-280>
- Chartier, G. (2024t.t.). *Toxorhynchites splendens*. *Gee Nature*. Diakses pada 6 Agustus, 2023, dari <https://geenature.com/observations/66910321>
- Correa, C.C., & Ballard J.W.O. (2016). Wolbachia Associations with Insects: Winning or Losing Against a Master Manipulator.

Frontiers in Ecology and Evolution, 3(153). DOI: 10.3389/fevo.2015.00153.

- Davis, K. (2014t.t.). Spatial Repellents. *Spatial Repellents*. Diakses pada 3 November, 2023, dari <https://spatialrepellents.nd.edu/about/spatial-repellents/>
- de Lima Cavalcanti, T. Y. V., Pereira, M. R., de Paula, S. O., & Franca, R. F. O. (2022). A Review on Chikungunya Virus Epidemiology, Pathogenesis, and Current Vaccine Development. *Viruses*, 14(5), 969. <https://doi.org/10.3390/v14050969>.
- De Lourdes Da Graça Macoris, M., Andrighetti, M. T. M., Wanderley, D. M. V., & Ribolla, P. E. M. (2014). Impact of insecticide resistance on the field control of *Aedes aegypti* in the State of São Paulo. *Revista Da Sociedade Brasileira De Medicina Tropical*, 47(5), 573–578. <https://doi.org/10.1590/0037-8682-0141-2014>
- Dorigatti, I., McCormack, C., Nedjati-Gilani, G., & Ferguson, N. M. (2018). Using Wolbachia for Dengue Control: Insights from Modelling. *Trends in Parasitology*, 34(2), 102–113. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2017.11.002>.
- Dusfour, I., Thalmensy, V., Gaborit, P., Issaly, J., Carinci, R., & Girod, R. (2011). Multiple insecticide resistance in *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) populations compromises the effectiveness of dengue vector control in French Guiana. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, 106(3), 346–352. <https://doi.org/10.1590/s0074-02762011000300015>
- El-Sherbini, G. T. (2011). The role of insects in mechanical transmission of human parasites. *Iranian Red Crescent Medical Journal*, 13(9), 678–679. <https://doi.org/10.5812/kowsar.20741804.22538>.
- Elmer, N. L. (2019, January 24). *CAMPUS BIODIVERSITY: Western Mosquitofish*. The University of Texas at Austin. Diakses pada 13 Maret, 2023, dari <https://biodiversity.utexas.edu/news/entry/>

campus-biodiversity-western-mosquitofish University of Texas. (2019). Western Mosquitofish. <https://biodiversity.utexas.edu/news/entry/campus-biodiversity-western-mosquitofish>

- Faheem, M. S. (2019, Desember 14). Male and female wild guppies (*Poecilia reticulata*). *The Dynamic Nature*. Diakses pada 6 Juli, 2023, dari <https://www.thedynamicnature.com/ornamental-aquarium-fishes/wild-guppies-present-status/male-and-female-wild-guppies-poecilia-reticulata/>
- Fakoorziba, M. R., Eghbal, F., Hassanzadeh, J., & Moemenbellah-Fard, M. D. (2010). Cockroaches (*Periplaneta americana* and *Blattella germanica*) as potential vectors of the pathogenic bacteria found in nosocomial infections. *Annals of tropical medicine and parasitology*, 104(6), 521–528. <https://doi.org/10.1179/136485910X12786389891326> .
- Ffrench-Constant, R. H. (2013). The molecular genetics of insecticide resistance. *Genetics*, 194(4), 807–815. <https://doi.org/10.1534/genetics.112.141895>.
- Garjito, T. A., Prihatin, M. T., Susanti, L., Prastowo, D., Sa'adah, S. R., Taviv, Y., Satoto, T. B. T., Waluyo, J., Manguin, S., & Frutos, R. (2019). First evidence of the presence of genotype-1 of Japanese encephalitis virus in *Culex gelidus* in Indonesia. *Parasites & Vectors*, 12(1), 19. <https://doi.org/10.1186/s13071-018-3285-7>.
- Garjito, T. A., Widiarti, Anggraeni, Y. M., Alfiah, S., Tunggul Satoto, T. B., Farchanny, A., Samaan, G., Afelt, A., Manguin, S., Frutos, R., & Aditama, T. Y. (2018). Japanese encephalitis in Indonesia: An update on epidemiology and transmission ecology. *Acta tropica*, 187, 240–247. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2018.08.017>.
- Golstein, C., Boireau, P., Pagès J.C. (2019). Benefits and limitations of emerging techniques for mosquito vector control. *Comptes Rendus Biologies*, 342(7–8), 270–272. *Comptes Rendus*

Biologies.;342(7):270-2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crv.2019.09.024>.

- Grübel, P., Hoffman, J. S., Chong, F. K., Burstein, N. A., Mepani, C., & Cave, D. R. (1997). Vector potential of houseflies (*Musca domestica*) for *Helicobacter pylori*. *Journal of clinical microbiology*, 35(6), 1300–1303. <https://doi.org/10.1128/jcm.35.6.1300-1303>.
- Ickowicz, A., Foster, S.D., Hosack, G.R., Hayes, K.R. (2021). Predicting the spread and persistence of genetically modified dominant sterile male mosquitoes. *Parasites & Vectors* 14, 480. <https://doi.org/10.1186/s13071-021-04982-1>
- Jarman, W. M., & Ballschmiter, K. (2012). From coal to DDT: the history of the development of the pesticide DDT from synthetic dyes till Silent Spring. *Endeavour*, 36(4), 131–142. <https://doi.org/10.1016/j.endeavour.2012.10.003>
- Jones, C. M., Machin, C., Mohammed, K., Majambere, S., Ali, A. S., Khatib, B. O., McHa, J., Ranson, H., & Kelly-Hope, L. A. (2012). Insecticide resistance in *Culex quinquefasciatus* from Zanzibar: implications for vector control programmes. *Parasites & Vectors*, 5, 78. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-5-78>
- Kambhampati, S. (2008). *Cockroaches: Ecology, Behavior, and Natural History*. William J. Bell, Louis M. Roth, and Christine A. Nalepa.
- Kazanidou, A., Nikou, D., Grigoriou, M., Vontas, J., & Skavdis, G. (2009). Short report: a multiplex PCR assay for simultaneous genotyping of *kdr* and *ace-1* loci in *Anopheles gambiae*. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 80(2), 236–238.
- Kemenkes RI. (2012). *Pedoman Penggunaan Insektisida (Pestisida) dalam Pengendalian Vektor*. *Kemenkes RI*. Diakses pada 26 November, 2023, dari <https://repository.kemkes.go.id/book/485>
- Kemenkes RI. (2024, 23 Agustus). *Infografis Kasus DBD di Indonesia*. *Kemenkes RI*. Diakses pada 26 November, 2023, dari <https://>

p2pm.kemkes.go.id/publikasi/infografis/info-dbd-minggu-ke-33-tahun-2023

- Khairiyati, L., Marlinae, L., Waskito, A., Nur Rahmat, A., Ridha, M. R., & Andiarsa, D. Khairiyati, Laily; Marlinae, Lenie; Waskito, Agung; Nur Rahmat, Anugerah; Ridha, M. Rasyid; Andiarsa, Dicky. (2021). *Buku Ajar Pengendalian Vektor dan Binatang Pengganggu*. CV Mine, Yogyakarta.
- Khamesipour, F., Lankarani, K. B., Honarvar, B., & Kwenti, T. E. (2018). A systematic review of human pathogens carried by the housefly (*Musca domestica* L.). *BMC Public Health*, 18(1), 1049. <https://doi.org/10.1186/s12889-018-5934-3>
- Khatiwada, J. R., Ghimire, S., Khatiwada, S. P., Paudel, B., Bischof, R., Jiang, J., & Haugaasen, T. (2016). Frogs as potential biological control agents in the rice fields of Chitwan, Nepal. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 230, 307–314. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.025>
- Khatiwada, Janak & Ghimire, Subarna & Paudel, Shanta & Paudel, Bikash & Bischof, Richard & Jiang, Jianping & Haugaasen, Torbjørn. (2016). Frogs as potential biological control agents in the rice fields of Chitwan, Nepal. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 230. 307-314. [10.1016/j.agee.2016.06.025](https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.025).
- LaDeau, S. L., Allan, B. F., Leisnham, P. T., & Levy, M. Z. (2015). The ecological foundations of transmission potential and vector-borne disease in urban landscapes. *Functional Ecology*, 29(7), 889–901. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12487>
- Lee, S. A., Economou, T., de Castro Catão, R., Barcellos, C., & Lowe, R. (2021). The impact of climate suitability, urbanisation, and connectivity on the expansion of dengue in 21st century Brazil. *PLoS neglected tropical diseases*, 15(12), e0009773. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0009773>.

- Lee, S., Economou, T., De Castro Catão, R., Barcellos, C., & Lowe, R. (2021). The impact of climate suitability, urbanisation, and connectivity on the expansion of dengue in 21st century Brazil. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 15(12), e0009773. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0009773>
- Macoris, M. deL., Andrighetti, M. T., Wanderley, D. M., & Ribolla, P. E. (2014). Impact of insecticide resistance on the field control of *Aedes aegypti* in the State of São Paulo. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 47(5), 573–578. <https://doi.org/10.1590/0037-8682-0141-2014>
- Makumi, J. N., Stevenson, P., & Green, C. H. (2000). Control of *Glossina longipennis* (Diptera: Glossinidae) by insecticide-treated targets at Galana ranch, Kenya, and confirmation of the role of *G. longipennis* as a vector of cattle trypanosomiasis. *Bulletin of Entomological Research*, 90(5), 397–406. <https://doi.org/10.1017/s0007485300000535>
- Marcombe, S., Blanc-Mathieu, R., Pocquet, N., Riaz, M., Poupardin, R., Sélior, S., Darriet, F., Reynaud, S., Yebakima, A., Corbel, V., David, J., & Chandre, F. (2012). Insecticide Resistance in the Dengue Vector *Aedes aegypti* from Martinique: Distribution, Mechanisms and Relations with Environmental Factors. *PLOS ONE*, 7(2), e30989. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030989>
- Marcombe, S., Mathieu, R. B., Pocquet, N., Riaz, M. A., Poupardin, R., Sélior, S., Darriet, F., Reynaud, S., Yebakima, A., Corbel, V., David, J. P., & Chandre, F. (2012). Insecticide resistance in the dengue vector *Aedes aegypti* from Martinique: distribution, mechanisms and relations with environmental factors. *PLoS one*, 7(2), e30989. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030989>
- Marquardt, W. (2004). *Biology of Disease Vectors*. 2nd edition. Elsevier
- Ministry of Agriculture FaFBC. (2022, Februari). *Pesticide Toxicity and Hazard*. Diakses pada Tanggal Desember, 2022,. Available

from: dari <https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/agriculture-and-seafood/animal-and-crops/plant-health/pesticide-toxicity-hazard.pdf>

Ministry of Health and Population. (2020). National guidelines on integrated vector management 2020. Government of Nepal. Available from: Diakses pada 10 Desember, 2022, dari <http://edcd.gov.np/uploads/resource/5efc4fb3564cf.pdf>.

Morrison, A., Reiner, R., Elson, W., Astete, H., Guevara, C., Aguila, C., Bazan, I., Siles, C., Barrera, P., Kawiecki, A., Barker, C., Vasquez, G., Escobedo, K., Flores-Mendoza, C., Huaman, A., Leguia, M., Silva, M., Jenkins, S., Campbell, W., Achee, N. (2021). Efficacy of a Spatial Repellent for Control of Aedes -Borne Virus Transmission: A Cluster Randomized Trial in Iquitos, Peru. *medRxiv (Cold Spring Harbor Laboratory)*. <https://doi.org/10.1101/2021.03.03.2125214810.1101/2021.03.03.21252148..>

Muare, A. A. (2022, 27 Juli). Raket Nyamuk Elektrik, Pembunuh Berdarah Dingin & Musuh Bebuyutan Bagi Nyamuk. *Digstrasi*. Diakses pada 24 Juli, 2023, dari <https://digstraksi.com/raket-nyamuk-elektrik-pembunuh-berdarah-dingin-musuh-bebuyutan-bagi-nyamuk/>

Nam, V. S., Yen, N. T., Holynska, M., Reid, J. W., & Kay, B. H. (2000). National progress in dengue vector control in Vietnam: survey for Mesocyclops (Kopepoda), Micronecta (Corixidae), and fish as biological control agents.. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 62(1), 5–10. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2000.62.5>The American journal of tropical medicine and hygiene Am J Trop Med Hyg Am. J. Trop. Med. Hyg., 62(1), 5-10. Retrieved Oct 30, 2023, from <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2000.62.5>

Ng'ang'a, P. N., Aduogo, P., & Mutero, C. M. (2021). Strengthening community and stakeholder participation in the implementation

- of integrated vector management for malaria control in western Kenya: a case study. *Malaria Journal*, 20(1). Malaria journal, 20(1), 155. <https://doi.org/10.1186/s12936-021-03692-4>.
- Niang, E. H. A., Bassene, H., Fenollar, F., & Mediannikov, O. (2018). Biological Control of Mosquito-Borne Diseases: The Potential of Wolbachia-Based Interventions in an IVM Framework. *Journal of Tropical Medicine*, 2018, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2018/1470459>Journal of tropical medicine, 2018, 1470459. <https://doi.org/10.1155/2018/1470459>.
- Ogunlade, S. T., Meehan, M. T., Adekunle, A. I., Rojas, D. P., Adegboye, O. A., & McBryde, E. S. (2021). A Review: Aedes-Borne Arboviral Infections, Controls and Wolbachia-Based Strategies. *Vaccines*, 9(1), 32. <https://doi.org/10.3390/vaccines9010032>
- Owusu, H. F., Jančáryová, D., Malone, D., & Müller, P. (2015). Comparability between insecticide resistance bioassays for mosquito vectors: time to review current methodology?. *Parasites & vectors*, 8, 357. <https://doi.org/10.1186/s13071-015-0971-6> .
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 374/Menkes/PER/III/2010 tentang Pengendalian Vektor (2010). <https://www.scribd.com/document/390753908/02-28-PMK-No-374-TAHUN-2010-TENTANG-PENGENDALIAN-VEKTOR-pdf>
- Petani Rasional [@Petani NRasional]. (20242017, 07 Desember). Pestisida dbagi mnjadi 5 kelas ... [Tweet]. Twitter. <https://twitter.com/PetaniRasional/status/1309460588100161537/photo/1>
- Plourde, B. T., Burgess, T. L., Eskew, E. A., Roth, T. M., Stephenson, N., & Foley, J. E. (2017). Are disease reservoirs special? Taxonomic and life history characteristics. *PloS one*, 12(7), e0180716. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180716>

- Powell, J.R. (2022). Modifying mosquitoes to suppress disease transmission: Is the long wait over? *Genetics*, 221(3). DOI: 10.1093/genetics/iyac072.
- Prasetyowati, H., Astuti E.P., Ruliansyah, A. (2016). Penggunaan Insektisida Rumah Tangga dalam Pengendalian Populasi Aedes Aegypti di Daerah endemis DBD di Jakarta Timur. *ASPIRATOR-Journal of Vector-borne Disease Studies*, 8(1), 29-36. *ASPIRATOR-Journal of Vector-borne Disease Studies* 8 (1), 29-36.
- Raghavendra, K., Barik, T. K., Reddy, B. P., Sharma, P., & Dash, A. P. (2011). Malaria vector control: from past to future. *Parasitology research*, 108(4), 757–779. <https://doi.org/10.1007/s00436-010-2232-0>
- Romoser, W. S. (2000). Introduction to Arthropods: Systematics, Behavior and Ecology. In *Springer eBooks* (pp. 53–98). https://doi.org/10.1007/978-94-011-6472-6_3
- Romoser, W.S. (2000). Introduction to Arthropods: Systematics, Behavior and Ecology. In: Eldridge, B.F., Edman, J.D. (eds) *Medical Entomology*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-6472-6_3
- Sene, N. M., Mavridis, K., Ndiaye, E. H., Diagne, C. T., Gaye, A., Ngom, E. H. M., Ba, Y., Diallo, D., Vontas, J., Dia, I., & Diallo, M. (2021). Insecticide resistance status and mechanisms in *Aedes aegypti* populations from Senegal. *PLoS neglected tropical diseases*, 15(5), e0009393. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0009393>.
- Shafique, M., Lopes, S., Doum, D., Keo, V., Sokha, L., Sam, B., Vibol, C., Alexander, N., Bradley, J., Liverani, M., Hii, J., Rithea, L., Aryal, S., & Hustedt, J. (2019). Implementation of gupi fish (*Poecilia reticulata*), and a novel larvicide (Pyriproxyfen) product (Sumilarv 2MR) for dengue control in Cambodia: A qualitative study of acceptability, sustainability and community

engagement. *PLoS neglected tropical diseases*, 13(11), e0007907. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007907>

- Stone, C. M., Lindsay, S. W., & Chitnis, N. (2014). How effective is integrated vector management against malaria and lymphatic filariasis where the diseases are transmitted by the same vector?. *PLoS neglected tropical diseases*, 8(12), e3393. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003393>
- Sumarmo. (1987). Dengue haemorrhagic fever in Indonesia. *The Southeast Asian journal of tropical medicine and public health*, 18(3), 269–274.
- Syafruddin, D., Asih, P. B. S., Rozi, I. E., Permana, D. H., Nur Hidayati, A. P., Syahrani, L., Zubaidah, S., Sidik, D., Bangs, M. J., Bøgh, C., Liu, F., Eugenio, E. C., Hendrickson, J., Burton, T., Baird, J. K., Collins, F., Grieco, J. P., Lobo, N. F., & Achee, N. L. (2020). Efficacy of a Spatial Repellent for Control of Malaria in Indonesia: A Cluster-Randomized Controlled Trial. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 103(1), 344–358. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.19-0554>.
- Szalanski, A. L., Owens, C. B., McKay, T., & Steelman, C. D. (2004). Detection of *Campylobacter* and *Escherichia coli* O157: H7 from filth flies by polymerase chain reaction. *Medical and Veterinary Entomology*, 18(3), 241-246. Szalanski, A.L., Owens, C.B., McKay, T., Steelman, C.D. (2004). Detection of *Campylobacter* and *Escherichia coli* O157:H7 from filth flies by polymerase chain reaction. *Med Vet Entomol*;18:241–246.
- Tatfeng, Y. M., Usuanlele, M. U., Orukpe, A., Digban, A. K., Okodua, M., Oviasogie, F., & Turay, A. A. (2005). Mechanical transmission of pathogenic organisms: the role of cockroaches. *Journal of vector borne diseases*, 42(4), 129.
- Thomas M. B. (2018). Biological control of human disease vectors: a perspective on challenges and opportunities. *BioControl*

(Dordrecht, Netherlands), 63(1), 61–69. <https://doi.org/10.1007/s10526-017-9815-y>

Tjaden, N. B., Thomas, S. M., Fischer, D., & Beierkuhnlein, C. (2013). Extrinsic Incubation Period of Dengue: Knowledge, Backlog, and Applications of Temperature Dependence. *PLoS neglected tropical diseases*, 7(6), e2207. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0002207>

Universitas Negeri Lampung. (2024t.t.). Struktur morfologi nyamuk *Anopheles* sp. Betina. *Universitas Negeri Lampung*. Diakses pada 20 Oktober, 2023, dari <https://digilib.unila.ac.id/13599/2/bab%202.pdf>

University of Melbourne Ross, P. (2018, April 13 2018). How we're using naturally occurring bacteria to stop mosquitoes from spreading disease. *University of Melbourne*. Diakses pada 13 Maret, 2023, dari <https://blogs.unimelb.edu.au/pearg/2018/04/13/wolbachia-bacteria-in-action-how-were-using-naturally-occurring-bacteria-to-stop-mosquitoes-from-spreading-disease/>

Utarini, A., Indriani, C., Ahmad, R. A., Tantowijoyo, W., Arguni, E., Ansari, M. R., Supriyati, E., Wardana, D. S., Meitika, Y., Ernesia, I., Nurhayati, I., Prabowo, E., Andari, B., Green, B. R., Hodgson, L., Cutcher, Z., Rancès, E., Ryan, P. A., O'Neill, S. L., Dufault, S. M., ... AWED Study Group (2021). Efficacy of Wolbachia-Infected Mosquito Deployments for the Control of Dengue. *The New England journal of medicine*, 384(23), 2177–2186. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2030243>.

van den Berg H. (2009). Global status of DDT and its alternatives for use in vector control to prevent disease. *Environmental health perspectives*, 117(11), 1656–1663. <https://doi.org/10.1289/ehp.0900785> 15.

van den Berg, H., da Silva Bezerra, H. S., Al-Eryani, S., Chanda, E., Nagpal, B. N., Knox, T. B., Velayudhan, R., & Yadav, R. S. (2021). Recent trends in global insecticide use for disease vector

control and potential implications for resistance management. *Scientific reports*, 11(1), 23867. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03367-9>

- Wahid, I., Ishak, H., Hafid, A., Fajri, M., Sidjal, S., Nurdin, A., Azikin, N. T., Sudirman, R., Hasan, H., Yusuf, M., Bachtiar, I., Hawley, W. A., Rosenberg, R., & Lobo, N. F. (2019). Integrated vector management with additional pre-transmission season thermal fogging is associated with a reduction in dengue incidence in Makassar, Indonesia: Results of an 8-year observational study. *PLoS neglected tropical diseases*, 13(8), e0007606. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007606>
- Warbanski, M. L., Marques, P., Frauendorf, T. C., Phillip, D. A. T., & El-Sabaawi, R. W. (2017). Implications of gupi (*Poecilia reticulata*) life-history phenotype for mosquito control. *Ecology and evolution*, 7(10), 3324–3334. <https://doi.org/10.1002/ece3.2666>
- World Health Organization. (1998). Techniques to detect insecticide resistance mechanisms (Field and laboratory manual). WHO. Diakses pada 03 Agustus, 2023, Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/who-cds-cpc-mal-98.6>.
- World Health Organization. (2012). Handbook for integrated vector management. WHO. Diakses pada 11 Maret, 2023, dari <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44768>
- World Health Organization. (2016). Monitoring and managing insecticide resistance in *Aedes* mosquito populations. Geneva: WHO. Diakses pada 11 Juni, 2023, dari Available from: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/204588/2/WHO_ZIKV_VC_16.1_eng.pdf.
- World Health Organization. (2020a). Vector Borne Diseases. WHO. Diakses pada 8 Desember, 2020, dari <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases>.

- World Health Organization. (2020b). A Global Review of Implementation of Integrated Vector Management. *WHO*. Diakses pada 10 Agustus, 2023, dari Available from: file:///D:/BUKU%20BRIN/ebook%2011_Global-review-implementation-of-IVM%20penting.pdf.
- World Health Organization. (2022). Standard operating procedure for testing insecticide susceptibility of adult mosquitoes in WHO tube tests. *WHO*. Diakses pada Tanggal Bulan, Tahun, dari (2022). <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/352316/9789240043831-eng.pdf?sequence=1>
- World Health Organization. (2023). Cockroaches: Unhygienic scavengers in human settlements. *WHO*. Diakses pada 02 November, 2023, dari Available from: https://www.who.int/water_sanitation_health/resources/vector288to301.pdf.
- Wilcox, B. A., Echaubard, P., de Garine-Wichatitsky, M., & Ramirez, B. (2019). Vector-borne disease and climate change adaptation in African dryland social-ecological systems. *Infectious diseases of poverty*, 8(1), 36. <https://doi.org/10.1186/s40249-019-0539-3>
- Wipfler, B., Triesch, F., Evangelista, D., & Weihmann, T. (2022). Morphological, functional, and phylogenetic aspects of the head capsule of the cockroach *Ergaula capucina* (Insecta/Blattodea). *PeerJ*, 10, e12470. <https://doi.org/10.7717/peerj.12470>
- Yadouléton, A., Badirou, K., Agbanrin, R., Jöst, H., Attolou, R., Srinivasan, R., Padonou, G., & Akogbéto, M. (2015). Insecticide resistance status in *Culex quinquefasciatus* in Benin. *Parasites & vectors*, 8, 17. <https://doi.org/10.1186/s13071-015-0638-3>
- Yanola, J., Chamnanya, S., Lumjuan, N., & Somboon, P. (2015). Insecticides resistance in the *Culex quinquefasciatus* populations from northern Thailand and possible resistance mechanisms. *Acta tropica*, 149, 232–238. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2015.06.011> .

- Yen, P.S., & Failloux, A.B. (2020). A Review: Wolbachia-Based Population Replacement for Mosquito Control Shares Common Points with Genetically Modified Control Approaches. *Pathogens (Basel, Switzerland)*, 9(5), 404. <https://doi.org/10.3390/pathogens9050404>.
- Zabalou, S., Riegler, M., Theodorakopoulou, M., Stauffer, C., Savakis, C., & Bourtzis, K. (2004). Wolbachia-induced cytoplasmic incompatibility as a means for insect pest population control. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(42), 15042–15045. <https://doi.org/10.1073/pnas.0403853101>.
- Zahraei-Ramazani, A. R., Saghafipour, A., & Vatandoost, H. (2018). Control of American Cockroach (*Periplaneta americana*) in Municipal Sewage Disposal System, Central Iran. *Journal of arthropod-borne diseases*, 12(2), 172–179.
- Zhu, K. Y. (2006). Insecticide toxicity. In *Kluwer Academic Publishers eBooks* (pp. 1187–1188). https://doi.org/10.1007/0-306-48380-7_2190Zhu, K.Y. (2004). Insecticide Toxicity. In: *Encyclopedia of Entomology*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/0-306-48380-7_2190 p. 1187-8.
- Zuharah, W. F., Fadzly, N., Yusof, N. A., & Dieng, H. (2015). Risky behaviors: effects of *Toxorhynchites splendens* (Diptera: Culicidae) predator on the behavior of three mosquito species. *Journal of insect science (Online)*, 15(1), 128. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iev115>
- Zulfa, R., Lo, W. C., Cheng, P. C., Martini, M., & Chuang, T. W. (2022). Updating the Insecticide Resistance Status of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in Asia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Tropical medicine and infectious disease*, 7(10), 306. <https://doi.org/10.3390/tropicalmed7100306>



TENTANG PENULIS



Siwi Pramata Mars Wijayanti, S.Si., M.Kes, Ph.D.

Penulis lahir di Kebumen, 10 Maret 1982. Penulis menyelesaikan studi S-1 di Fakultas Biologi, Universitas Jenderal Soedirman, S-2 di Ilmu Kedokteran Tropis, Universitas Gadjah Mada, dan S-3 di Centre for Virus Research (CVR), University of Glasgow, United Kingdom. Saat ini, penulis merupakan dosen peminatan epidemiologi di Jurusan Kesehatan Masyarakat, Fakultas Ilmu-Ilmu Kesehatan, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto. Penelitiannya berfokus pada penyakit menular, terutama penyakit tropis dengan spesifikasi penyakit tular vektor nyamuk (*Mosquito-borne diseases*). Penulis banyak mendapatkan hibah penelitian dari nasional (DIKTI dan Badan Riset dan Inovasi Nasional/BRIN) dan internasional (Medical Research Council, United Kingdom). Penulis aktif menulis publikasi ilmiah di berbagai jurnal ilmiah, baik nasional terakreditasi maupun jurnal internasional bereputasi. Beberapa buku yang pernah ditulisnya, yakni *Pengendalian Vektor Epidemiologi* dan *Dasar-Dasar Epidemiologi*. Penulis juga merupakan *reviewer* beberapa jurnal nasional dan internasional serta *chief editor* pada *Insights in Public Health Journal*.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



INDEKS

- biologis, 16, 24, 29, 30, 31, 35, 36, 38, 80, 93, 126
- cikungunya, xvii, 6, 7, 8, 16, 94, 103, 122, 123, 125
- dengue, xvii, 2, 4, 6, 7, 15, 38, 53, 93, 96, 103, 119, 164, 165, 168, 169, 170, 172, 175
- dosis, 42, 53, 54, 55, 61, 67, 70, 91
- insektisida, 14, 16, 17, 18, 19, 26, 27, 29, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 80, 82, 85, 89, 92, 97, 98, 100, 120, 124, 125, 126, 127, 151, 161, 162
- integrasi, 26, 86, 89
- kecoak, 1, 5, 42, 47, 153, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162
- kimiawi, 19, 29, 41, 65, 77, 80, 89, 98, 125, 126
- lalat, 1, 2, 4, 5, 6, 10, 14, 16, 26, 42, 55, 58, 59, 89, 90, 92, 93, 97, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 159
- malaria, xvii, 2, 4, 5, 6, 7, 14, 15, 18, 54, 58, 77, 80, 87, 88, 101, 103, 120, 124, 171, 173
- mekanis, 1, 5, 21, 23, 130, 153, 160, 162
- nyamuk, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 14, 15, 16, 17, 19, 22, 23, 24, 25, 26, 29, 30, 31, 33, 34, 36, 38, 42, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 60, 68, 71, 72, 73, 75, 84, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 104, 105,

- 106, 107, 108, 109, 110, 111,
112, 113, 114, 115, 116, 117,
118, 119, 120, 121, 122, 123,
124, 125, 126, 127, 170, 174,
179
- pengendalian, xvii, 2, 9, 13, 14, 15,
16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24,
25, 26, 27, 29, 30, 31, 35, 36,
38, 41, 42, 43, 47, 48, 51, 54,
59, 61, 63, 67, 68, 71, 74, 75,
77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84,
85, 86, 87, 88, 89, 93, 94, 95,
97, 99, 101, 125, 126, 149,
151, 160, 161, 162
- resistensi, 16, 27, 43, 54, 56, 57, 60,
67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74,
77, 80, 82, 85, 89, 100, 120,
151
- serangga, 11, 14, 16, 21, 22, 23, 26,
29, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47,
48, 49, 50, 51, 52, 53, 56, 57,
58, 59, 61, 69, 70, 72, 73, 74,
89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 97,
98, 99, 100, 101, 116, 129,
130, 134, 143, 144, 146, 151,
153, 156, 159
- vektor, xvii, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,
10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18,
19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27,
29, 30, 31, 35, 37, 38, 41, 42,
43, 48, 51, 52, 53, 54, 59, 61,
63, 67, 68, 70, 71, 72, 74, 75,
77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84,
85, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 93,
95, 97, 99, 103, 119, 121,
122, 123, 126, 130, 134, 144,
145, 146, 147, 153, 179
- virus, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 13, 15, 38, 93,
94, 96, 103, 119, 121, 122,
123, 144, 153, 159, 166
- Wolbachia*, 93, 94, 95, 96, 126, 164,
165, 171, 174, 177

Setiap tahun, sebesar 17% dari seluruh penyakit menular merupakan penyakit yang ditularkan oleh vektor, seperti malaria, demam berdarah dengue (DBD), chikungunya, filariasis, penyakit tidur afrika, penyakit chagas, dan demam kuning. Penyakit-penyakit tersebut masih menjadi ancaman bagi penduduk di seluruh dunia. Lebih dari 3,9 miliar orang di lebih dari 128 negara berisiko tertular DBD dengan 96 juta kasus diperkirakan per tahun. Malaria menyebabkan lebih dari 400.000 kematian setiap tahun secara global, kebanyakan dari mereka anak di bawah usia 5 tahun. Penyakit lain, seperti penyakit chagas, leishmaniasis, dan schistosomiasis menginfeksi ratusan juta orang di seluruh dunia. Akibatnya, secara global telah terjadi lebih dari 700.000 kasus yang berujung pada kematian.

Banyak dari penyakit tular vektor ini sebenarnya dapat dicegah melalui tindakan pencegahan dan pengendalian. Oleh karena itu, buku ini sangat tepat dibaca untuk memahami jenis-jenis vektor penyakit, serta berbagai metode pengendalian vektor termasuk pengendalian secara terintegrasi. Buku ini juga dilengkapi dengan hasil-hasil penelitian terkini. Selain itu, buku ini diharapkan dapat memperkaya buku-buku bertema serupa di Indonesia.

Selamat membaca!

BRIN Publishing
The Legacy of Knowledge

Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, anggota Ikapi
Gedung B.J. Habibie Lt. 8,
Jln. M.H. Thamrin No. 8,
Kota Jakarta Pusat 10340
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin.790



ISBN: 978-623-8372-69-0



9 786238 372690