

PENGENDALIAN VEKTOR

AGEN PENYAKIT



IDENTIFIKASI



PENGENDALIAN



MONITORING



PENCEGAHAN



Prof. Dr. Dra. Maria Kanan, M.Kes.
Dr. Bambang Dwicahya, SKM, M.Kes.
Dr. Sandy N. Sakati, SKM, M.Kes.

PENGENDALIAN VEKTOR PENYAKIT

Prof. Dr. Dra. Maria Kanan, M.Kes.
Dr. Bambang Dwicahya, SKM,M.Kes.
Dr. Sandy N. Sakati, SKM, M.Kes.



PENGENDALIAN VEKTOR PENYAKIT

Penulis:

Prof. Dr. Dra. Maria Kanan, M.Kes.
Dr. Bambang Dwicahya, SKM, M.Kes.
Dr. Sandy N. Sakati, SKM, M.Kes.

Editor:

Ahmad Ruhardi

Layouter :

Tim Kreatif PRCI

Cover:

Rusli

Cetakan Pertama : Juli 2026

Hak Cipta 2026, pada Penulis. Diterbitkan pertama kali oleh:

Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
ANGGOTA IKAPI JAWA BARAT

Pondok Karisma Residence Jalan Raflesia VI D.151
Panglayungan, Cipedes Tasikmalaya – 085223186009

Website : www.rcipress.rcipublisher.org
E-mail : rumahcemerlangindonesia@gmail.com

Copyright © 2026 by Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
All Right Reserved

- Cet. I – : Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia, 2026
; 18 x 25cm
ISBN 978-634-239-497-7

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak buku ini dalam bentuk dan dengan
cara apapun tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang
Hak Cipta Pasal 72

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta
Pasal 72

Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling sedikit 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp.1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).

Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta terkait sebagai dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)

PRAKATA

Penyakit tular vektor, mulai dari demam berdarah, malaria, hingga filariasis, masih menjadi tantangan kesehatan masyarakat yang signifikan di Indonesia dan berbagai belahan dunia. Kompleksitas penularannya semakin meningkat seiring dengan perubahan iklim, urbanisasi yang pesat, dan mobilitas penduduk yang kian tinggi. Fenomena ini menuntut para praktisi dan calon ahli kesehatan masyarakat untuk tidak hanya memahami konsep dasar, tetapi juga menguasai keterampilan teknis dan strategis dalam pengendalian vektor. Buku ajar "Pengendalian Vektor Penyakit" ini lahir dari sebuah kegelisahan dan harapan: kegelisahan melihat tantangan yang terus berevolusi dan harapan untuk membekali generasi penerus dengan fondasi ilmu yang kokoh, relevan, dan aplikatif. Motivasi utama penyusunannya adalah untuk menjembatani kesenjangan antara teori di ruang kelas dan realitas di lapangan, menyajikan sebuah panduan yang sistematis bagi mahasiswa untuk menjadi agen perubahan dalam upaya eliminasi penyakit tular vektor.

Buku ini dirancang dengan alur yang logis dan berjenjang, memandu pembaca dari pemahaman fundamental hingga aplikasi strategis. Dimulai dengan pengenalan konsep dasar dan sistem penularan penyakit (Bab 1-2), pembahasan berlanjut ke inti ilmu entomologi kesehatan, yaitu biologi, identifikasi vektor nyamuk maupun non-nyamuk, serta metode surveilans (Bab 3-6). Keunggulan utama buku ini terletak pada pendekatannya yang terintegrasi. Kami tidak berhenti pada pengenalan teknik, tetapi menekankan bagaimana data surveilans dan indeks entomologi (Bab 7-8) dianalisis secara terpadu untuk menghasilkan penilaian risiko yang tajam (Bab 9). Analisis ini kemudian menjadi dasar pengambilan keputusan dalam memilih dan mengombinasikan berbagai metode pengendalian—mulai dari pengendalian lingkungan, non-kimia, hingga kimia—dengan mempertimbangkan isu krusial seperti resistensi insektisida (Bab 10-13). Puncaknya, semua elemen ini disintesis dalam kerangka *Integrated Vector Management* (IVM), sebuah pendekatan holistik yang menjadi standar emas dalam program pengendalian vektor modern (Bab 14).

Penyelesaian buku ini tentu tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak. Ucapan terima kasih yang tulus saya sampaikan kepada rekan-rekan sejawat di lingkungan akademis dan praktisi di lapangan, yang diskusi dan wawasannya telah memperkaya substansi naskah ini. Penghargaan terbesar saya tujukan kepada para mahasiswa, yang rasa ingin tahu dan pertanyaan-pertanyaan kritisnya selama perkuliahan menjadi inspirasi utama untuk menyusun materi ini secara lebih sistematis dan mudah dipahami. Dukungan

moril yang tak ternilai dari keluarga menjadi sumber kekuatan selama proses penulisan yang panjang. Terakhir, terima kasih kepada pihak penerbit yang telah memberikan kepercayaan dan bekerja secara profesional untuk mewujudkan buku ini ke hadapan para pembaca.

Besar harapan saya, buku ajar ini dapat menjadi sumber belajar yang bermanfaat, tidak hanya bagi mahasiswa Kesehatan Masyarakat, tetapi juga bagi para dosen, peneliti, dan praktisi yang berkecimpung dalam dunia pengendalian vektor. Ilmu pengetahuan senantiasa dinamis, dan buku ini merupakan sebuah potret pemahaman pada masanya. Oleh karena itu, masukan, kritik, dan saran yang membangun dari para pembaca sangat saya harapkan untuk penyempurnaan pada edisi-edisi mendatang. Semoga buku ini dapat menjadi bekal awal yang memantik semangat dan mengasah kompetensi Anda dalam berkontribusi menciptakan lingkungan dan masyarakat yang lebih sehat, bebas dari ancaman penyakit tular vektor.

Luwuk, Juli 2026

Penulis

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat-Nya, sehingga buku ajar berjudul Pengendalian Vektor Penyakit ini dapat hadir di tengah-tengah kita. Kehadiran buku ini menjadi sangat tepat waktu, mengingat tantangan kesehatan masyarakat yang terus berkembang. Dinamika penyakit tular vektor di Indonesia dan dunia menunjukkan kompleksitas yang semakin tinggi, dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti perubahan iklim, urbanisasi yang tidak terencana, peningkatan mobilitas penduduk, serta munculnya resistensi vektor terhadap insektisida. Dalam konteks inilah, kebutuhan akan sumber literatur yang komprehensif, mutakhir, dan relevan dengan kondisi lokal menjadi sebuah keniscayaan. Buku ini menjawab kebutuhan tersebut dengan meletakkan dasar yang kokoh bagi pemahaman dan penerapan strategi pengendalian vektor yang efektif dan berkelanjutan.

Kehadiran buku ajar ini memberikan kontribusi yang signifikan terhadap khazanah keilmuan Kesehatan Masyarakat di Indonesia. Penulis secara cermat menyusun materi dalam sebuah kerangka yang sistematis, dimulai dari pengenalan dasar-dasar biologi dan ekologi vektor, dilanjutkan dengan pembahasan epidemiologi penyakit yang ditularkannya, hingga puncak pembahasan pada berbagai metode dan strategi pengendalian. Keunggulan utama buku ini terletak pada pendekatannya yang integratif, di mana aspek teknis pengendalian tidak dipisahkan dari konteks sosial, perilaku, dan lingkungan. Pembaca tidak hanya disuguhkan dengan "apa" dan "bagaimana" cara mengendalikan vektor, tetapi juga diajak untuk memahami "mengapa" suatu intervensi dipilih dan bagaimana intervensi tersebut dapat diadaptasikan dalam berbagai situasi. Struktur seperti ini menjadikannya lebih dari sekadar buku teks, melainkan sebuah panduan holistik.

Saya menaruh apresiasi yang tinggi terhadap kualitas penyajian yang diusung oleh penulis. Materi yang sejatinya padat dan kompleks berhasil disajikan dengan gaya bahasa yang lugas, jernih, dan mudah dicerna tanpa mengorbankan kedalaman substansinya. Penggunaan contoh kasus yang relevan dengan konteks Indonesia, disertai dengan data dan ilustrasi pendukung, secara efektif menjembatani jurang antara teori dan praktik di lapangan. Pendekatan ini sangat berharga bagi proses pembelajaran mahasiswa, karena mendorong mereka untuk tidak sekadar menghafal fakta, tetapi juga mengembangkan kemampuan berpikir kritis, menganalisis masalah secara komprehensif, dan merumuskan solusi yang aplikatif. Buku ini jelas

dirancang bukan hanya untuk transfer pengetahuan, tetapi juga untuk membentuk kompetensi calon ahli kesehatan masyarakat.

Oleh karena itu, saya dengan keyakinan penuh merekomendasikan buku ini sebagai referensi wajib. Bagi mahasiswa program studi Kesehatan Masyarakat, buku ini akan menjadi panduan utama yang sangat membantu dalam memahami mata kuliah Pengendalian Vektor Penyakit secara utuh. Bagi para dosen dan pengajar, buku ini dapat menjadi sumber daya pengayaan yang kaya untuk mengembangkan materi ajar dan diskusi di kelas. Tidak berhenti di situ, para praktisi di lapangan—seperti staf Dinas Kesehatan, entomolog kesehatan, sanitarian, hingga manajer program di lembaga swadaya masyarakat—akan menemukan banyak wawasan praktis yang dapat langsung diterapkan dalam pekerjaan sehari-hari. Para peneliti pun dapat menjadikan buku ini sebagai titik pijak untuk mengidentifikasi celah pengetahuan dan mengembangkan agenda riset yang relevan di masa depan.

Akhir kata, saya berharap buku ajar Pengendalian Vektor Penyakit ini dapat menjadi sumber ilmu yang bermanfaat, menjadi rujukan esensial, dan memberikan sumbangsih nyata bagi upaya peningkatan derajat kesehatan masyarakat di Indonesia. Semoga karya ini menjadi amal jariyah bagi penulisnya dan menginspirasi lahirnya karya-karya berkualitas lainnya di bidang kesehatan masyarakat.

Luwuk, Juli 2026

DAFTAR ISI

PRAKATA	I
KATA PENGANTAR	III
DAFTAR ISI	V
BAB 1 KONSEP DASAR PENYAKIT TULAR VEKTOR	1
A. Tujuan Pembelajaran	1
B. Pengantar	1
C. Definisi Penyakit Tular Vektor	2
D. Ruang Lingkup Pengendalian Vektor	4
E. Peran Kesehatan Masyarakat dalam Pengendalian Vektor	6
F. Klasifikasi Penyakit Tular Vektor	7
G. Dampak Kesehatan dan Lingkungan	9
H. Rangkuman	11
I. Latihan Mahasiswa	11
BAB 2 SISTEM PENULARAN PENYAKIT TULAR VEKTOR	15
A. Tujuan Pembelajaran	15
B. Pengantar	15
C. Konsep Rantai Penularan Penyakit	16
D. Peran Agen dalam Penularan	18
E. Peran Vektor dan Reservoir	19
F. Faktor Host dan Kerentanan	21
G. Pengaruh Lingkungan Fisik, Biologis, Sosial, Dan Perilaku	23
H. Rangkuman	24
I. Latihan Mahasiswa	25
BAB 3 BIOLOGI DAN PERILAKU VEKTOR	29
A. Tujuan Pembelajaran	29
B. Pengantar	29
C. Siklus Hidup Vektor	30
D. Habitat dan Ekologi Vektor	32
E. Perilaku Menggigit dan Istirahat	34
F. Preferensi Inang (<i>host preference</i>)	36

G. <i>Vector competence</i> dan <i>vectorial capacity</i>	37
H. Rangkuman	39
I. Latihan Mahasiswa	40
 BAB 4 IDENTIFIKASI VEKTOR NYAMUK	 44
A. Tujuan Pembelajaran	44
B. Pengantar	44
C. Karakteristik Genus <i>Aedes</i>	45
D. Karakteristik Genus <i>Anopheles</i>	47
E. Karakteristik Genus <i>Culex</i>	48
F. Karakteristik Genus <i>Mansonia</i>	50
G. Perbandingan Morfologi dan Habitat Nyamuk	51
H. Rangkuman	53
I. Latihan Mahasiswa	53
 BAB 5 IDENTIFIKASI VEKTOR NON-NYAMUK	 57
A. Tujuan Pembelajaran	57
B. Pengantar	57
C. Lalat sebagai vektor mekanik	58
D. Kecoa dan perannya dalam kesehatan	60
E. Pinjal, Kutu, dan Tungau	61
F. Caplak dan peran zoonosis	63
G. Tikus Sebagai Reservoir Penyakit	64
H. Rangkuman	66
I. Latihan Mahasiswa	66
 BAB 6 SURVEILANS ENTOMOLOGI	 70
A. Tujuan Pembelajaran	70
B. Pengantar	70
C. Konsep dan Tujuan Surveilans	72
D. Desain Survei Vektor	73
E. Metode Sampling Larva dan Pupa	76
F. Metode Sampling Nyamuk Dewasa	77
G. Alat Surveilans (ovitrap, light trap, aspirator)	79
H. Rangkuman	81
I. Latihan Mahasiswa	82
 BAB 7 INDEKS ENTOMOLOGI	 86
A. Tujuan Pembelajaran	86

B. Pengantar	86
C. Jenis Indeks Entomologi (HI, CI, BI, ABJ)	87
D. Ovitrap Index dan Indikator lain	89
E. Kepadatan Larva dan Dewasa	91
F. Perhitungan Indeks Entomologi	92
G. Interpretasi Indeks dan Tingkat Risiko	93
H. Rangkuman	95
I. Latihan Mahasiswa	96
 BAB 8 ANALISIS TERPADU DATA ENTOMOLOGI	 100
A. Tujuan Pembelajaran	100
B. Pendahuluan	100
C. Integrasi Data Surveilans	101
D. Analisis Hubungan Data Vektor dan Penyakit	103
E. Interpretasi Data Berbasis Kasus	105
F. Penyusunan Laporan Analisis	107
G. Pengambilan Keputusan Berbasis Data	109
H. Rangkuman	111
I. Latihan Mahasiswa	112
 BAB 9 ANALISIS RISIKO PENYAKIT TULAR VEKTOR	 116
A. Tujuan Pembelajaran	116
B. Pengantar	116
C. Konsep Analisis Risiko	117
D. Variabel Lingkungan dan Epidemiologi	119
E. Data Kepadatan Vektor dan Kasus	120
F. Penyusunan Matriks Risiko	122
G. Penentuan Prioritas Wilayah Intervensi	124
H. Rangkuman	126
I. Latihan Mahasiswa	127
 BAB 10 PENGENDALIAN LINGKUNGAN	 131
A. Tujuan Pembelajaran	131
B. Pengantar	131
C. Konsep <i>Source Reduction</i>	132
D. Program PSN dan 3M Plus	134
E. Pengelolaan Sanitasi dan Drainase	135
F. Pengelolaan Sampah dan Habitat	137
G. Modifikasi dan Manipulasi Lingkungan	139

H. Rangkuman	140
I. Latihan Mahasiswa	141
 BAB 11 PENGENDALIAN NON-KIMIA	 145
A. Tujuan Pembelajaran	145
B. Pengantar	145
C. Pengendalian Biologis (ikan, Bti)	147
D. Predator Alami Vektor	149
E. Pengendalian Fisik (trap dan screening)	150
F. Perlindungan Individu (repellent, kelambu)	152
G. Evaluasi Efektivitas dan Keberterimaan	154
H. Rangkuman	155
I. Latihan Mahasiswa	156
 BAB 12 PENGENDALIAN KIMIA	 160
A. Tujuan Pembelajaran	160
B. Pengantar	160
C. Jenis Insektisida (larvasida dan adultisida)	162
D. Teknik Aplikasi (fogging, IRS, ULV, LLIN)	164
E. Formulasi dan Dosis Insektisida	165
F. Keselamatan Kerja dan APD	167
G. Dampak Lingkungan dan Keamanan Pestisida	169
H. Rangkuman	171
I. Latihan Mahasiswa	172
 BAB 13 RESISTENSI INSEKTISIDA	 176
A. Tujuan Pembelajaran	176
B. Pengantar	176
C. Konsep dan mekanisme resistensi	178
1. Resistensi Metabolik	178
2. Resistensi Target-Situs (Target-Site)	178
3. Resistensi Kutikula	179
4. Resistensi Perilaku	179
D. Metode Pengujian (<i>bioassay</i>)	180
E. Interpretasi Hasil Resistensi	181
F. Rotasi Insektisida	183
G. Strategi Resistance Management	185
H. Rangkuman	187
I. Latihan Mahasiswa	187

BAB 14 INTEGRATED VECTOR MANAGEMENT DAN PROGRAM PENGENDALIAN	192
A. Tujuan Pembelajaran	192
B. Pengantar	192
C. Konsep <i>Integrated Vector Management</i> (IVM)	194
D. Pengendalian Spesifik Penyakit (DBD, malaria, filariasis, dll.)	195
E. Komunikasi Risiko dan Pemberdayaan Masyarakat	197
F. Kolaborasi Lintas Sektor	198
G. Perencanaan, Monitoring, dan Evaluasi Program	200
H. Rangkuman	202
I. Latihan Mahasiswa	202
 DAFTAR PUSTAKA	 207
 LAMPIRAN: KUNCI JAWABAN	 214
Kunci Jawaban BAB 1	214
Kunci Jawaban BAB 2	215
Kunci Jawaban BAB 3	216
Kunci Jawaban BAB 4	218
Kunci Jawaban BAB 5	219
Kunci Jawaban BAB 6	220
Kunci Jawaban BAB 7	222
Kunci Jawaban BAB 8	223
Kunci Jawaban BAB 9	224
Kunci Jawaban BAB 10	226
Kunci Jawaban BAB 11	227
Kunci Jawaban BAB 12	228
Kunci Jawaban BAB 13	230
Kunci Jawaban BAB 14	231
 GLOSARIUM	 233
 INDEKS	 239
 TENTANG PENULIS	 241

BAB 1

KONSEP DASAR PENYAKIT TULAR VEKTOR

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah menyelesaikan pembahasan pada bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menggunakan konsep trias epidemiologi untuk memodelkan dinamika penularan penyakit tular vektor endemik di Indonesia, seperti Demam Berdarah Dengue (DBD) dan Malaria.
2. Menentukan ruang lingkup intervensi pengendalian vektor yang relevan (fisik, biologis, kimiawi) untuk sebuah studi kasus di wilayah perkotaan padat dan perdesaan.
3. Mendemonstrasikan peran spesifik ahli kesehatan masyarakat dalam siklus program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) 3M Plus di tingkat komunitas.
4. Mengklasifikasikan penyakit tular vektor utama di Indonesia berdasarkan taksonomi vektor dan jenis agen patogennya.
5. Menghitung indikator entomologi dasar, seperti *house index* dan *container index*, dari data survei jentik hipotetis untuk menilai risiko penularan DBD.
6. Memilih pendekatan pengendalian vektor yang mempertimbangkan dampak minimal terhadap lingkungan berdasarkan analisis skenario penggunaan insektisida.

B. Pengantar

Seekor nyamuk yang berdengung di telinga pada malam hari sering kali hanya dianggap sebagai gangguan kecil. Namun, dalam konteks kesehatan masyarakat, serangga mungil ini—bersama dengan lalat, kutu, dan tungau—merupakan salah satu agen penyebar kematian paling efisien di dunia. Organisme-organisme ini, yang dikenal sebagai vektor, menjadi perantara bagi patogen berbahaya untuk berpindah dari satu inang ke inang lainnya, menyebabkan apa yang kita sebut sebagai penyakit tular vektor (*vector-borne diseases*). Konsep ini, yaitu penyakit yang memerlukan perantara untuk transmisinya, menjadi inti dari salah satu tantangan kesehatan masyarakat terbesar di negara tropis seperti Indonesia. Contoh konkretnya dapat dilihat dari pola musiman yang mengkhawatirkan: setiap musim penghujan tiba, rumah sakit di kota-kota besar seperti Jakarta dan Surabaya bersiap menghadapi lonjakan pasien Demam Berdarah Dengue (DBD) yang ditularkan oleh nyamuk *Aedes aegypti*. Di sisi lain, di wilayah perdesaan dan pedalaman seperti di Papua atau Nusa Tenggara Timur, ancaman konstan datang dari Malaria yang

disebarkan oleh nyamuk *Anopheles*. Implikasinya jelas: penyakit tular vektor bukan sekadar masalah klinis perorangan, melainkan isu struktural yang membebani sistem kesehatan, menurunkan produktivitas ekonomi, dan menyebabkan penderitaan skala luas yang sesungguhnya dapat dicegah.

Menghadapi ancaman tersebut, profesi kesehatan masyarakat tidak berfokus pada pengobatan individu yang sudah terinfeksi, melainkan pada titik paling strategis: memutus rantai penularan. Di sinilah disiplin ilmu pengendalian vektor menunjukkan perannya yang vital. Konsep pengendalian vektor mencakup serangkaian tindakan yang dirancang untuk menekan populasi vektor atau mencegah kontak antara vektor dan manusia. Spektrumnya sangat luas, mulai dari intervensi fisik hingga kebijakan publik. Sebagai contoh, respons reaktif yang umum dikenal masyarakat adalah pengasapan (*fogging*) insektisida saat terjadi wabah DBD. Meskipun terlihat dramatis, efektivitasnya sering kali terbatas dan berjangka pendek. Pendekatan ini kontras dengan strategi proaktif dan berkelanjutan seperti program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) 3M Plus yang mengandalkan partisipasi aktif masyarakat, didampingi oleh kader atau Juru Pemantau Jentik (Jumantik), untuk menghilangkan tempat perindukan nyamuk. Implikasinya, seorang praktisi kesehatan masyarakat harus mampu berpikir sistemik, tidak hanya memilih metode teknis yang tepat, tetapi juga merancang program yang dapat diterima secara sosial, berkelanjutan secara ekologis, dan efektif dari segi biaya. Kemampuan untuk menerapkan berbagai pendekatan ini secara terpadu adalah kompetensi kunci yang membedakan seorang ahli kesehatan masyarakat.

Untuk membekali Anda dengan fondasi yang kokoh dalam disiplin ilmu yang kompleks ini, bab pendahuluan ini akan membedah konsep-konsep fundamental yang wajib Anda kuasai. Pembahasan akan diawali dengan definisi formal dari penyakit tular vektor, mengurai komponen-komponen dalam rantai penularan. Selanjutnya, kita akan menjelajahi ruang lingkup pengendalian vektor yang luas, dari metode yang paling sederhana hingga yang paling canggih. Bab ini juga akan secara khusus menguraikan peran strategis tenaga kesehatan masyarakat sebagai perencana, pelaksana, dan evaluator program. Untuk memberikan gambaran yang lebih sistematis, akan disajikan klasifikasi penyakit tular vektor yang paling relevan dengan konteks Indonesia. Terakhir, kita akan menganalisis dampak kesehatan dan lingkungan yang ditimbulkan, baik oleh penyakit itu sendiri maupun oleh upaya pengendaliannya. Pemahaman menyeluruh terhadap elemen-elemen ini merupakan langkah awal yang esensial sebelum Anda melangkah ke strategi pengendalian yang lebih teknis pada bab-bab berikutnya.

C. Definisi Penyakit Tular Vektor

Secara fundamental, penyakit tular vektor (*vector-borne disease*) adalah penyakit yang penularannya dari satu inang ke inang lain memerlukan perantara

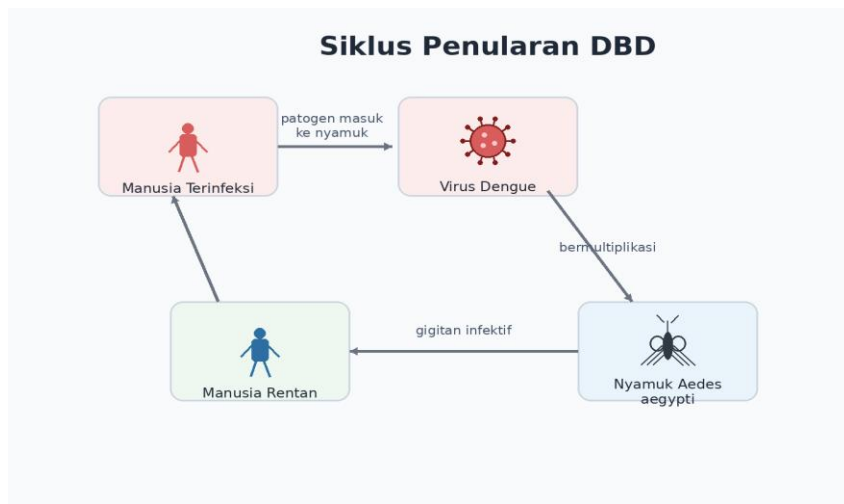
berupa organisme hidup, yang disebut sebagai vektor. Definisi ini membedakannya secara tajam dari penyakit menular lain yang dapat ditransmisikan secara langsung (misalnya, melalui percikan dahak) atau melalui media pasif seperti air dan makanan. Kunci dari konsep ini terletak pada peran aktif vektor, yang umumnya adalah artropoda (serangga, tungau, caplak), dalam siklus hidup patogen. Vektor tidak hanya memindahkan agen penyakit secara mekanis dari satu tempat ke tempat lain, tetapi sering kali menjadi bagian esensial dari siklus hidup patogen tersebut, di mana patogen mengalami multiplikasi (perbanyakkan) atau maturasi (pematangan) di dalam tubuh vektor sebelum menjadi infeksius.

DEFINISI

Penyakit Tular Vektor adalah penyakit infeksi yang disebabkan oleh agen patogen (virus, bakteri, protozoa, atau cacing) dan ditransmisikan di antara inang vertebrata (termasuk manusia) oleh artropoda pengisap darah yang bertindak sebagai vektor.

Dinamika penularan ini paling baik dijelaskan melalui kerangka trias epidemiologi, yang melibatkan interaksi antara tiga komponen utama: agen, inang (*host*), dan lingkungan. Namun, untuk penyakit tular vektor, model ini diperluas menjadi sebuah tetrad dengan menambahkan komponen keempat yang krusial: vektor. Sebagai contoh, pada kasus Demam Berdarah Dengue (DBD) yang sangat lazim di kota-kota besar Indonesia, agen penyakitnya adalah virus Dengue. Inang utamanya adalah manusia. Vektornya adalah nyamuk *Aedes aegypti*. Keempat komponen ini berinteraksi dalam sebuah lingkungan spesifik, misalnya lingkungan perkotaan padat dengan banyak tempat penampungan air yang menjadi lokasi perindukan nyamuk. Tanpa keberadaan nyamuk *Aedes aegypti* yang kompeten, siklus penularan virus Dengue ke manusia akan terputus, sekalipun ada penderita dan orang sehat di lokasi yang sama. Hal serupa terjadi pada Malaria, di mana parasit *Plasmodium* (agen) memerlukan nyamuk *Anopheles* (vektor) untuk menularkannya antarmanusia (inang) di wilayah endemis seperti Papua dan Nusa Tenggara Timur (Suari, 2021). Identifikasi yang akurat terhadap spesies nyamuk yang berperan sebagai vektor menjadi sangat penting dalam merancang strategi pengendalian yang efektif (Nugroho, 2021).

Untuk memvisualisasikan hubungan kompleks ini, perhatikan siklus penularan pada diagram berikut.



Gambar 1.1 Siklus Penularan Penyakit Tular Vektor pada Kasus DBD

Diagram di atas mengilustrasikan bagaimana vektor menjadi jembatan yang tak terpisahkan dalam rantai penularan. Implikasinya bagi kesehatan masyarakat sangat jelas: intervensi yang bertujuan memutus mata rantai ini dapat menargetkan vektornya. Upaya pengendalian vektor, seperti pemberantasan sarang nyamuk untuk menekan populasi *Aedes aegypti*, merupakan strategi yang logis dan efektif untuk mencegah wabah DBD (Dhenge, 2021). Pemahaman mendalam mengenai definisi dan mekanisme dasar ini menjadi fondasi untuk mempelajari berbagai strategi pengendalian yang akan dibahas pada bab-bab selanjutnya, dimulai dengan konsep rantai penularan yang lebih detail pada Bab 2.

D. Ruang Lingkup Pengendalian Vektor

Pengendalian vektor adalah disiplin ilmu dan praktik kesehatan masyarakat yang bertujuan untuk menekan atau menghilangkan populasi vektor penyakit, atau setidaknya mengganggu kemampuannya untuk menularkan patogen. Tujuannya bukan untuk memusnahkan seluruh spesies vektor—yang sering kali tidak mungkin dan tidak bijaksana secara ekologis—melainkan untuk mengurangi kepadatannya hingga di bawah ambang batas yang diperlukan untuk transmisi penyakit yang berkelanjutan. Ruang lingkup pengendalian vektor sangat luas dan multidisiplin, mencakup serangkaian metode yang dapat dikelompokkan ke dalam empat kategori utama: pengendalian lingkungan, pengendalian biologis, pengendalian kimiawi, dan pengendalian fisik/mekanis. Pendekatan yang paling efektif sering kali mengintegrasikan beberapa metode sekaligus.

1. **Pengendalian Lingkungan (*Environmental Control*):** Ini adalah strategi paling fundamental dan berkelanjutan yang berfokus pada modifikasi lingkungan untuk menghilangkan atau mengurangi habitat perindukan vektor (*source reduction*). Contoh paling ikonik di Indonesia adalah

program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) dengan gerakan 3M Plus (Menguras, Menutup, Mendaur ulang, plus tindakan pencegahan lainnya). Program ini menargetkan tempat-tempat penampungan air yang menjadi lokasi berkembang biak nyamuk *Aedes aegypti*. Pengelolaan sampah yang baik juga krusial, karena sampah seperti ban bekas dan kaleng dapat menjadi sarang nyamuk (Sawitri, 2023). Di tingkat yang lebih besar, pengelolaan drainase perkotaan dan irigasi pertanian dapat dirancang untuk mencegah genangan air yang menjadi habitat larva nyamuk *Anopheles* atau *Culex*. Upaya menciptakan lingkungan sehat yang bebas dari vektor melalui pemberdayaan masyarakat adalah inti dari pendekatan ini (Fazri, 2023).

2. **Pengendalian Biologis (*Biological Control*):** Metode ini memanfaatkan musuh alami atau patogen spesifik untuk menekan populasi vektor. Contoh klasiknya adalah penebaran ikan pemakan jentik (seperti ikan cupang atau guppy) di kolam atau bak penampungan air. Secara komersial, produk yang mengandung bakteri *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) banyak digunakan sebagai larvasida biologis. Bti menghasilkan toksin yang spesifik membunuh larva nyamuk tetapi aman bagi manusia dan organisme non-target lainnya. Selain itu, penelitian terus mengembangkan potensi larvasida nabati dari ekstrak tumbuhan lokal yang ramah lingkungan sebagai alternatif pestisida kimia (Ahyanti, 2022).
3. **Pengendalian Kimiawi (*Chemical Control*):** Ini adalah metode yang paling dikenal masyarakat, melibatkan penggunaan bahan kimia (insektisida) untuk membunuh vektor pada berbagai tahap kehidupannya. Pengendalian kimia dapat dibagi menjadi dua:
 - a. **Larvasida:** Aplikasi bahan kimia (seperti temefos) ke dalam genangan air untuk membunuh larva dan pupa.
 - b. **Adultisida:** Aplikasi insektisida untuk membunuh vektor dewasa. Teknik yang umum digunakan meliputi pengasapan (*thermal fogging*) dan pengabutan (*Ultra Low Volume/ULV*) untuk pengendalian nyamuk di luar ruangan, serta Penyemprotan Rumah dengan Insektisida (*Indoor Residual Spraying /IRS*) untuk membunuh nyamuk malaria yang hinggap di dinding. Meskipun efektif untuk respons cepat saat wabah, penggunaan bahan kimia harus dilakukan secara bijaksana karena risiko resistensi dan dampak lingkungan, sehingga sering kali menjadi pilihan terakhir setelah metode lain tidak memadai (I., 2022).
4. **Pengendalian Fisik/Mekanis (*Physical/Mechanical Control*):** Pendekatan ini berfokus pada penciptaan penghalang fisik antara vektor dan manusia. Contoh yang paling efektif dan banyak digunakan adalah kelambu berinsektisida (*Long-Lasting Insecticidal Nets/LLINs*) untuk perlindungan

dari gigitan nyamuk malaria pada malam hari. Pemasangan kawat kasa pada jendela dan ventilasi rumah juga merupakan bentuk pengendalian fisik yang efektif.

Implikasinya, seorang praktisi kesehatan masyarakat harus memiliki pemahaman komprehensif tentang kelebihan dan kekurangan setiap metode. Pemilihan strategi pengendalian vektor yang tepat, seperti yang akan dibahas lebih lanjut pada Bab 10 hingga 12, harus didasarkan pada analisis situasional yang cermat, termasuk biologi vektor, epidemiologi penyakit, kondisi lingkungan setempat, dan ketersediaan sumber daya.

E. Peran Kesehatan Masyarakat dalam Pengendalian Vektor

Pengendalian vektor, meskipun melibatkan aspek teknis entomologi dan toksikologi, pada intinya adalah sebuah intervensi kesehatan masyarakat. Peran seorang ahli kesehatan masyarakat (Kesmas) jauh melampaui sekadar teknis penyemprotan atau ahli identifikasi serangga. Mereka adalah arsitek, manajer, dan evaluator program yang bekerja di persimpangan antara ilmu pengetahuan, kebijakan, dan komunitas. Peran ini bersifat strategis dan multifaset, memastikan bahwa intervensi tidak hanya efektif secara teknis tetapi juga berkelanjutan, dapat diterima secara sosial, dan efisien dari segi biaya. Kontribusi unik profesi kesehatan masyarakat dapat diuraikan ke dalam beberapa fungsi krusial.

Pertama, sebagai **perencana** dan **analis**. Profesional Kesmas bertugas menerjemahkan data epidemiologi (pola sebaran penyakit) dan data entomologi (kepadatan dan perilaku vektor) menjadi sebuah rencana aksi yang terarah. Sebagai contoh, seorang sanitarian atau epidemiolog di Dinas Kesehatan Kabupaten/Kota akan menganalisis laporan mingguan kasus DBD dari Puskesmas dan data survei jentik (seperti Angka Bebas Jentik/ABJ). Jika kasus meningkat dan ABJ turun di bawah target di suatu kecamatan, mereka akan merancang intervensi yang tepat sasaran, misalnya menginisiasi Gerakan 1 Rumah 1 Jumantik, bukan sekadar melakukan *fogging* reaktif. Analisis ini melibatkan pemahaman mendalam tentang faktor risiko lingkungan dan sosial, yang merupakan keahlian inti kesehatan masyarakat (Tanjung, 2023).

Kedua, **sebagai pendidik dan penggerak masyarakat** (*community mobilizer*). Keberhasilan banyak program pengendalian vektor, terutama yang berbasis lingkungan seperti PSN 3M Plus, sangat bergantung pada perubahan perilaku masyarakat. Di sinilah peran Kesmas sebagai komunikator risiko dan fasilitator menjadi vital. Mereka tidak hanya menyebarkan informasi, tetapi juga bekerja sama dengan tokoh masyarakat, kader kesehatan, dan organisasi lokal untuk membangun kesadaran dan kepemilikan program. Contoh nyata adalah peran dalam membina dan memberdayakan kader Juru Pemantau Jentik (Jumantik) di tingkat RT/RW. Kader, yang merupakan bagian dari komunitas itu

sendiri, terbukti menjadi ujung tombak yang efektif dalam edukasi dan pemantauan dari rumah ke rumah (Kurniawan, 2022). Upaya pemberdayaan masyarakat ini mengubah warga dari objek pasif menjadi subjek aktif dalam melindungi kesehatan lingkungan mereka (Fazri, 2023).

Ketiga, sebagai **advokat dan koordinator lintas sektor**. Masalah vektor sering kali berakar pada isu-isu di luar sektor kesehatan, seperti tata kota, pengelolaan sampah, dan sanitasi. Seorang manajer program Kesmas harus mampu berkolaborasi dan melakukan advokasi kepada sektor lain. Misalnya, meyakinkan dinas pekerjaan umum untuk memperbaiki sistem drainase yang buruk di suatu area endemis filariasis, atau bekerja sama dengan dinas kebersihan untuk mengoptimalkan jadwal pengangkutan sampah guna mengurangi tempat perindukan lalat dan tikus. Kemampuan untuk membangun kemitraan dan menavigasi birokrasi ini adalah kompetensi kunci yang membedakan pendekatan kesehatan masyarakat.

Keempat, sebagai **monitor dan evaluator**. Setiap intervensi harus diukur efektivitasnya untuk akuntabilitas dan perbaikan di masa depan. Profesional Kesmas merancang sistem monitoring dan evaluasi untuk program pengendalian vektor. Ini bisa berupa pemantauan rutin indeks entomologi (misalnya, *House Index*) untuk menilai dampak PSN, melakukan survei *bioassay* untuk mendeteksi resistensi insektisida, atau mengevaluasi tingkat penggunaan kelambu berinsektisida di komunitas. Sistem pengendalian internal yang baik, yang mencakup pemantauan dan penilaian risiko, sangat penting untuk memastikan kualitas dan keberhasilan program, serupa dengan prinsip manajemen di sektor lain (Herawati, 2022). Implikasinya, peran kesehatan masyarakat adalah sebagai perekat yang mengintegrasikan ilmu, kebijakan, dan aksi di lapangan menjadi sebuah program yang koheren dan berdampak.

F. Klasifikasi Penyakit Tular Vektor

Untuk memahami keragaman ancaman yang ditimbulkan oleh penyakit tular vektor dan merancang respons yang sesuai, penting bagi kita untuk memiliki kerangka klasifikasi yang sistematis. Penyakit-penyakit ini dapat dikelompokkan berdasarkan beberapa kriteria, namun dua pendekatan yang paling bermanfaat dalam konteks kesehatan masyarakat adalah klasifikasi berdasarkan jenis vektor dan klasifikasi berdasarkan jenis agen patogen. Memahami kedua klasifikasi ini memungkinkan praktisi untuk mengantisipasi dinamika penularan dan memilih strategi pengendalian yang paling relevan. Misalnya, penyakit yang ditularkan oleh nyamuk akan memerlukan pendekatan yang berbeda dari penyakit yang ditularkan oleh pinjal tikus.

Klasifikasi berdasarkan taksonomi vektor membantu kita memfokuskan upaya pengendalian pada biologi dan perilaku organisme perantara. Setiap kelompok vektor memiliki habitat, siklus hidup, dan pola aktivitas yang unik,

yang akan diuraikan lebih lanjut pada Bab 4 dan 5. Di sisi lain, klasifikasi berdasarkan agen patogen (virus, bakteri, protozoa, atau cacing) memberikan wawasan tentang manifestasi klinis, diagnosis, dan pengobatan penyakit, serta mekanisme interaksi patogen di dalam tubuh vektor. Tabel di bawah ini menyajikan klasifikasi penyakit tular vektor utama yang relevan di Indonesia, menggunakan kedua pendekatan tersebut.

Tabel 1.1 Klasifikasi Penyakit Tular Vektor Utama di Indonesia

Penyakit	Agen Patogen (Jenis)	Vektor Utama	Wilayah Endemis Khas di Indonesia
Demam Berdarah Dengue	Virus Dengue (Virus)	Nyamuk <i>Aedes aegypti</i> , <i>Ae. albopictus</i>	Perkotaan & semi-perkotaan di seluruh Indonesia
Malaria	<i>Plasmodium sp.</i> (Protozoa)	Nyamuk <i>Anopheles sp.</i>	Papua, Nusa Tenggara Timur, Maluku
Filariasis (Kaki Gajah)	<i>W. bancrofti</i> , <i>B. malayi</i> (Cacing)	Nyamuk <i>Culex</i> , <i>Anopheles</i> , <i>Mansonia</i>	Daerah perdesaan, pesisir, dan pedalaman
Chikungunya	Virus Chikungunya (Virus)	Nyamuk <i>Aedes aegypti</i> , <i>Ae. albopictus</i>	Mirip dengan DBD, sering terjadi bersamaan
Japanese Encephalitis	Virus JE (Virus)	Nyamuk <i>Culex tritaeniorhynchus</i>	Area persawahan (Bali, Kalimantan, Jawa)
Pes (Plague)	<i>Yersinia pestis</i> (Bakteri)	Pinjal tikus (<i>Xenopsylla cheopis</i>)	Area dengan populasi tikus tinggi (historis)
Scrub Typhus	<i>Orientia tsutsugamushi</i> (Bakteri)	Tungau (<i>Leptotrombidium sp.</i>)	Area perkebunan dan semak

			belukar
Leptospirosis	<i>Leptospira sp.</i> (Bakteri)	Kontak dengan urin tikus (reservoir)	Area banjir, pertanian, dan sanitasi buruk
Penyakit Diare	Beragam (Bakteri/Virus)	Lalat rumah (<i>Musca domestica</i>)	Universal, terkait dengan sanitasi lingkungan

Tabel di atas menunjukkan betapa beragamnya lanskap penyakit tular vektor di Indonesia. Sebagai contoh, strategi untuk mengendalikan DBD dan Chikungunya akan sangat mirip karena keduanya ditularkan oleh vektor yang sama, yaitu nyamuk *Aedes* (Dhenge, 2021). Sebaliknya, pengendalian Malaria memerlukan fokus pada nyamuk *Anopheles* yang memiliki perilaku dan habitat berbeda, seperti yang ditemukan dalam studi untuk pencegahan malaria (Suari, 2021). Sementara itu, penyakit seperti Pes dan Leptospirosis menyoroti pentingnya pengendalian reservoir (tikus) selain vektornya sendiri. Penyakit yang ditularkan secara mekanis oleh lalat, seperti diare, menekankan pentingnya sanitasi dasar lingkungan sebagai benteng pertahanan utama (Kurniawati, 2021).

G. Dampak Kesehatan dan Lingkungan

Penyakit tular vektor menimbulkan beban ganda yang signifikan: dampak langsung terhadap kesehatan manusia dan dampak tidak langsung yang berasal dari upaya pengendaliannya terhadap lingkungan. Memahami kedua sisi dampak ini sangat krusial bagi praktisi kesehatan masyarakat untuk dapat merancang program intervensi yang tidak hanya efektif, tetapi juga etis dan berkelanjutan. Mengabaikan salah satu aspek dapat menyebabkan keberhasilan jangka pendek yang dibayar dengan kerugian jangka panjang, baik bagi kesehatan populasi maupun kelestarian ekosistem.

Dampak kesehatan dan ekonomi dari penyakit tular vektor sangat besar, terutama di negara tropis seperti Indonesia. Dampak ini dapat diukur melalui beberapa indikator. Pertama adalah morbiditas (angka kesakitan) dan mortalitas (angka kematian). Wabah DBD, misalnya, secara rutin membebani sistem rumah sakit di kota-kota besar, menyebabkan penderitaan, dan terkadang kematian, terutama pada anak-anak. Malaria di wilayah timur Indonesia tidak hanya menyebabkan kematian tetapi juga anemia kronis dan gangguan kognitif yang menurunkan produktivitas. Kedua, adalah kecacatan jangka panjang. Filariasis, meskipun jarang menyebabkan kematian, dapat

mengakibatkan limfedema kronis (kaki gajah) yang menimbulkan stigma sosial, penderitaan seumur hidup, dan ketidakmampuan untuk bekerja. Ketiga, adalah beban ekonomi. Biaya yang ditimbulkan tidak hanya mencakup biaya pengobatan langsung, tetapi juga biaya tidak langsung seperti kehilangan hari kerja bagi pasien dan keluarga, penurunan produktivitas nasional, serta dampak negatif pada sektor pariwisata di daerah endemis.

Di sisi lain, upaya pengendalian vektor itu sendiri, terutama yang bergantung pada bahan kimia, dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan jika tidak dikelola dengan baik. Salah satu masalah terbesar adalah perkembangan **resistensi insektisida**. Penggunaan insektisida yang sama secara berulang dan tidak bijaksana, seperti praktik *fogging* massal yang sering dituntut oleh masyarakat, dapat secara tidak sengaja menyeleksi populasi vektor yang kebal. Akibatnya, insektisida andalan menjadi tidak efektif, dan program pengendalian kehilangan salah satu alat utamanya. Ini adalah contoh evolusi dalam skala waktu nyata yang memiliki konsekuensi kesehatan masyarakat yang serius. Masalah resistensi ini menjadi salah satu alasan utama pengembangan alternatif seperti biolarvasida nabati yang lebih ramah lingkungan (Ahyanti, 2022).

Selain resistensi, dampak lingkungan lainnya meliputi:

- a. **Kerusakan pada organisme non-target:** Insektisida berspektrum luas dapat membunuh serangga lain yang bermanfaat, seperti lebah penyerbuk atau predator alami hama. Larvasida kimia yang mencemari badan air dapat membahayakan ikan dan kehidupan akuatik lainnya.
- b. **Kontaminasi lingkungan:** Residu pestisida dapat bertahan lama di tanah dan air, masuk ke dalam rantai makanan, dan berpotensi terakumulasi di jaringan organisme hidup, termasuk manusia.
- c. **Risiko kesehatan manusia:** Paparan langsung terhadap insektisida, terutama bagi petugas lapangan dan penduduk yang rumahnya disemprot, dapat menyebabkan masalah kesehatan akut dan kronis jika prosedur keselamatan dan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) diabaikan.

Implikasinya adalah pengendalian vektor modern harus mengadopsi prinsip kehati-hatian. Diperlukan pendekatan terpadu yang menyeimbangkan efektivitas dan keberlanjutan. Ini sejalan dengan konsep pembangunan berkelanjutan yang mewajibkan analisis dampak lingkungan (AMDAL) untuk setiap kegiatan yang berpotensi merusak lingkungan, sebuah prinsip yang relevan untuk program pengendalian vektor skala besar (Herlina, 2021). Pergeseran menuju strategi yang lebih ramah lingkungan, seperti pengendalian biologis dan pengelolaan lingkungan yang lebih baik, bukan lagi pilihan, melainkan keharusan untuk memastikan perlindungan kesehatan jangka panjang tanpa mengorbankan kelestarian planet. Pertimbangan ini juga sejalan

dengan upaya global dalam mitigasi perubahan iklim, di mana penggunaan energi dan bahan kimia yang berlebihan coba dikurangi (Ghaniyyu, 2021).

H. Rangkuman

Penyakit tular vektor secara fundamental didefinisikan sebagai penyakit infeksi yang transmisinya memerlukan organisme hidup (vektor), yang tidak hanya memindahkan patogen secara mekanis tetapi sering kali menjadi inang esensial bagi multiplikasi atau maturasi patogen tersebut. Konsep ini memperluas trias epidemiologi klasik (agen, inang, lingkungan) menjadi sebuah tetrad dengan menambahkan vektor sebagai komponen keempat yang krusial. Sebagai contoh, siklus Demam Berdarah Dengue (DBD) tidak akan berjalan tanpa interaksi antara virus Dengue (agen), manusia (inang), nyamuk *Aedes aegypti* (vektor), dan lingkungan perkotaan yang mendukung perindukan nyamuk. Memutus mata rantai penularan ini menjadi fokus utama kesehatan masyarakat, yang diwujudkan melalui disiplin pengendalian vektor. Tujuannya bukan pemusnahan total, melainkan menekan populasi vektor di bawah ambang batas penularan. Ruang lingkupnya mencakup empat strategi utama yang idealnya diintegrasikan. Pengendalian lingkungan, seperti gerakan 3M Plus, menjadi fondasi berkelanjutan dengan memodifikasi habitat perindukan (*source reduction*). Pengendalian biologis memanfaatkan musuh alami, seperti ikan pemakan jentik atau bakteri *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti), sebagai alternatif ramah lingkungan. Pengendalian kimiawi, melalui larvasida (temefos) dan adultisida (pengasapan, IRS), menawarkan respons cepat saat wabah namun berisiko menimbulkan resistensi dan dampak ekologis. Terakhir, pengendalian fisik menciptakan penghalang langsung antara vektor dan manusia, dengan kelambu berinsektisida (LLINs) dan kawat kasa sebagai contoh utamanya. Pemahaman holistik terhadap konsep dan ragam strategi ini merupakan kompetensi dasar bagi praktisi kesehatan masyarakat dalam merancang intervensi yang efektif dan rasional.

I. Latihan Mahasiswa

a. Essay

1. Analisislah perbedaan fundamental antara peran nyamuk *Aedes aegypti* dalam penularan DBD dan peran air yang terkontaminasi dalam penularan kolera. Kaitkan analisis Anda dengan konsep vektor sebagai perantara aktif versus media pasif, serta implikasinya terhadap strategi pengendalian masing-masing penyakit.
2. Evaluasilah efektivitas dan keberlanjutan program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) dengan gerakan 3M Plus sebagai strategi pengendalian lingkungan, jika dibandingkan dengan metode pengendalian kimiawi seperti pengasapan (*fogging*) untuk merespons wabah DBD di suatu wilayah perkotaan padat penduduk.

3. Berdasarkan model tetrad epidemiologi (agen, inang, vektor, lingkungan), telaahlah mengapa identifikasi spesies vektor secara akurat, seperti membedakan nyamuk *Anopheles* dan *Aedes*, menjadi langkah yang sangat krusial sebelum merancang program intervensi pengendalian penyakit di suatu daerah endemis.
4. Rumuskan sebuah argumentasi untuk meyakinkan seorang kepala desa bahwa penggunaan larvasida biologis seperti Bti dan penebaran ikan pemakan jentik lebih unggul untuk jangka panjang dibandingkan hanya mengandalkan larvasida kimia (temefos) secara terus-menerus di bak-bak penampungan air warga.
5. Bandingkan dan kontraskan tujuan, mekanisme kerja, serta target sasaran antara metode pengendalian fisik/mekanis (contoh: kelambu berinsektisida) dan pengendalian kimiawi dalam bentuk *Indoor Residual Spraying* (IRS) untuk pencegahan malaria di daerah pedesaan.

b. Pilihan Berganda

1. Apa yang menjadi ciri pembeda utama penyakit tular vektor dari penyakit menular lainnya?
 - a. Disebabkan oleh agen patogen seperti virus atau bakteri.
 - b. Dapat menyebabkan wabah di masyarakat.
 - c. Penularannya memerlukan organisme hidup sebagai perantara aktif.
 - d. Dapat dicegah melalui perbaikan sanitasi dan higienitas pribadi.
2. Dalam kerangka tetrad epidemiologi untuk penyakit DBD, nyamuk *Aedes aegypti* berperan sebagai...
 - a. Agen
 - b. Inang
 - c. Lingkungan
 - d. Vektor
3. Proses di mana patogen mengalami perbanyakan atau pematangan di dalam tubuh vektor sebelum menjadi infeksius disebut...
 - a. Transmisi mekanis
 - b. Siklus hidup patogen
 - c. Periode inkubasi ekstrinsik
 - d. Kompetensi vektor
4. Berikut ini yang merupakan contoh dari pengendalian lingkungan (*environmental control*) adalah...
 - a. Melakukan pengasapan (*fogging*) di area perumahan.
 - b. Menebarkan ikan cupang di bak mandi untuk memakan jentik.
 - c. Memasang kawat kasa pada ventilasi rumah.
 - d. Menguras tempat penampungan air secara rutin (gerakan 3M).

5. Penggunaan bakteri *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) untuk membunuh larva nyamuk tergolong dalam kategori pengendalian...
 - a. Kimiawi
 - b. Biologis
 - c. Fisik
 - d. Lingkungan
6. Tujuan utama dari praktik pengendalian vektor dalam kesehatan masyarakat adalah...
 - a. Memusnahkan seluruh spesies vektor dari muka bumi.
 - b. Mengurangi populasi vektor di bawah ambang batas penularan penyakit.
 - c. Mengganti insektisida kimia dengan bahan nabati secara total.
 - d. Melindungi populasi manusia dengan vaksinasi massal.
7. Teknik penyemprotan insektisida pada dinding bagian dalam rumah untuk membunuh nyamuk malaria yang hinggap dikenal sebagai...
 - a. Pengasapan (*Thermal Fogging*)
 - b. Pengabutan (*Ultra Low Volume*)
 - c. Penyemprotan Rumah dengan Insektisida (*Indoor Residual Spraying*)
 - d. Aplikasi Larvasida
8. Manakah dari tindakan berikut yang merupakan contoh pengendalian fisik/mekanis?
 - a. Mengelola sampah agar tidak menjadi sarang nyamuk.
 - b. Menggunakan losion anti nyamuk pada kulit.
 - c. Tidur menggunakan kelambu berinsektisida.
 - d. Memberikan bubuk temefos pada genangan air.
9. Pengendalian kimiawi yang menargetkan vektor pada stadium dewasa disebut...
 - a. Larvasida
 - b. Ovisida
 - c. Adultisida
 - d. Pupisida
10. Konsep *source reduction* dalam pengendalian vektor paling erat kaitannya dengan strategi...
 - a. Pengendalian kimiawi, dengan mengurangi dosis insektisida.
 - b. Pengendalian lingkungan, dengan menghilangkan habitat perindukan.
 - c. Pengendalian biologis, dengan mengurangi jumlah predator alami.
 - d. Pengendalian fisik, dengan mengurangi kontak manusia-vektor.

c. Soal Project / Studi Kasus

1. Anda adalah kepala puskesmas di Kecamatan X, sebuah area perkotaan padat yang sedang mengalami peningkatan kasus DBD secara signifikan memasuki musim hujan. Sebagian warga menuntut pemerintah daerah untuk segera melakukan pengasapan (*fogging*) di seluruh wilayah. Namun, data surveilans menunjukkan Angka Bebas Jentik (ABJ) di wilayah tersebut hanya 40%. Rumuskan sebuah rencana intervensi terpadu jangka pendek dan menengah yang akan Anda presentasikan kepada camat, jelaskan mengapa fogging saja tidak cukup dan bagaimana peran serta masyarakat menjadi kunci keberhasilan program.
2. Sebuah perusahaan perkebunan kelapa sawit akan membuka lahan baru di dekat sebuah desa di Kalimantan yang memiliki riwayat kasus malaria. Sebagai konsultan kesehatan masyarakat, Anda diminta untuk memberikan rekomendasi pengendalian vektor yang harus diintegrasikan ke dalam desain dan operasional perkebunan sejak awal untuk meminimalkan risiko penularan malaria kepada para pekerja dan masyarakat sekitar. Rancanglah minimal tiga rekomendasi dari kategori pengendalian yang berbeda (lingkungan, fisik, biologis) dan berikan justifikasi singkat untuk setiap rekomendasi.

BAB 2

SISTEM PENULARAN PENYAKIT TULAR VEKTOR

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah menyelesaikan pembahasan pada bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menerapkan konsep rantai penularan untuk mengidentifikasi titik-titik intervensi potensial pada kasus demam berdarah dengue di suatu wilayah.
2. Menentukan peran spesifik agen (misalnya, *Plasmodium falciparum*), vektor (*Anopheles sp.*), dan reservoir dalam siklus penularan malaria di Provinsi Papua.
3. Menggunakan data demografi dan perilaku untuk mengestimasi tingkat kerentanan suatu populasi terhadap penyakit chikungunya di sebuah kelurahan padat penduduk.
4. Menganalisis keterkaitan antara faktor lingkungan (fisik, biologis, sosial) dengan peningkatan kasus filariasis di Kabupaten Pekalongan.
5. Memilih strategi intervensi yang paling tepat untuk memutus rantai penularan leptospirosis berdasarkan analisis faktor host dan lingkungan pada situasi bencana banjir di Jakarta.

B. Pengantar

Setiap tahun, berita mengenai lonjakan kasus Demam Berdarah Dengue (DBD) di berbagai kota di Indonesia seolah menjadi siklus yang tak terhindarkan, terutama saat musim penghujan tiba. Pada tahun 2022, misalnya, Kementerian Kesehatan mencatat lebih dari 131.000 kasus dengan angka kematian mencapai 1.183 jiwa. Fenomena ini bukanlah sekadar persoalan medis individu yang dapat diselesaikan di rumah sakit, melainkan sebuah manifestasi dari sistem yang jauh lebih kompleks. Lonjakan kasus DBD secara langsung berkaitan dengan dinamika ekologis, seperti peningkatan tempat perindukan nyamuk *Aedes aegypti* akibat curah hujan tinggi, serta faktor sosial, seperti kepadatan penduduk dan mobilitas manusia antarwilayah yang mempercepat penyebaran virus Dengue. Implikasinya bagi seorang praktisi kesehatan masyarakat sangat jelas: intervensi yang hanya berfokus pada aspek kuratif (pengobatan pasien) tidak akan pernah cukup untuk mengatasi masalah secara fundamental. Akar persoalan terletak pada sistem penularan itu sendiri, dan untuk mengendalikannya, kita harus terlebih dahulu memahami cara kerja sistem tersebut secara menyeluruh. Oleh karena itu, membongkar "mesin" penularan penyakit tular vektor menjadi kompetensi inti yang membedakan pendekatan kesehatan masyarakat dari pendekatan klinis.

Bab ini akan memandu Anda untuk memahami arsitektur penularan penyakit tular vektor melalui model konseptual yang fundamental, yaitu rantai penularan (*chain of infection*). Konsep ini mengurai proses transmisi penyakit menjadi serangkaian tautan yang saling berhubungan: agen, reservoir, portal keluar, cara penularan, portal masuk, dan host yang rentan. Sebagai ilustrasi, mari kita lihat kasus malaria di Provinsi Nusa Tenggara Timur. Penyakit ini disebabkan oleh agen parasit *Plasmodium* yang hidup dalam tubuh manusia (bertindak sebagai reservoir). Ketika nyamuk *Anopheles* (vektor) menggigit orang yang terinfeksi, parasit tersebut masuk ke tubuh nyamuk. Setelah melalui masa inkubasi, nyamuk tersebut menularkannya kepada orang sehat lain melalui gigitan. Proses ini sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, seperti keberadaan genangan air bersih yang menjadi tempat nyamuk berkembang biak, dan faktor perilaku host, seperti kebiasaan berada di luar rumah pada malam hari tanpa proteksi. Implikasinya, dengan memahami setiap tautan dalam rantai ini, kita dapat merancang intervensi yang presisi. Penggunaan kelambu berinsektisida, misalnya, adalah strategi yang dirancang spesifik untuk memutus mata rantai pada tahap "cara penularan" dengan menghalangi kontak antara vektor dan host pada jam aktif nyamuk.

Untuk membekali Anda dengan kemampuan menerapkan analisis semacam ini, pembahasan dalam bab ini akan disusun secara sistematis. Kita akan memulai dengan membedah **konsep dasar rantai penularan penyakit** sebagai kerangka kerja utama. Selanjutnya, kita akan mendalami peran spesifik dari setiap komponen kunci, yaitu **agen** patogen penyebab penyakit, serta **vektor dan reservoir** yang berfungsi sebagai perantara dan "penyimpan" agen. Tidak berhenti di situ, kita juga akan mengkaji bagaimana **faktor host**, seperti status imunitas, gizi, dan perilaku, menentukan tingkat kerentanan seseorang atau sebuah populasi. Sebagai penutup, bab ini akan menyajikan analisis komprehensif mengenai **pengaruh lingkungan**—baik fisik (suhu, kelembapan), biologis (predator alami vektor), maupun sosial dan perilaku (kebiasaan masyarakat, kebijakan pemerintah)—yang secara dinamis memodifikasi dan memfasilitasi keseluruhan sistem penularan penyakit.

C. Konsep Rantai Penularan Penyakit

Memahami cara penyakit menyebar adalah langkah pertama dan paling fundamental dalam merancang strategi pengendalian yang efektif. Dalam epidemiologi, kerangka kerja yang paling sering digunakan untuk memvisualisasikan proses ini adalah konsep rantai penularan penyakit (*chain of disease transmission*). Konsep ini mengibaratkan penularan penyakit sebagai sebuah rantai yang terdiri dari enam mata rantai yang saling terhubung dan berurutan. Jika salah satu mata rantai ini dapat dipatahkan atau diinterupsi, maka penyebaran penyakit dapat dihentikan atau setidaknya diperlambat secara

signifikan. Bagi seorang praktisi kesehatan masyarakat, setiap mata rantai merepresentasikan sebuah titik intervensi potensial. Keenam tautan dalam rantai ini adalah: (1) Agen Penyakit, (2) Reservoir, (3) Portal Keluar (*Portal of Exit*), (4) Cara Penularan (*Mode of Transmission*), (5) Portal Masuk (*Portal of Entry*), dan (6) Inang yang Rentan (*Susceptible Host*).

Untuk mengilustrasikan konsep ini dalam konteks penyakit tular vektor di Indonesia, mari kita gunakan kasus Demam Berdarah Dengue (DBD) yang endemis di banyak kota besar. **Agen penyakit** adalah virus Dengue. **Reservoir** utamanya adalah manusia yang terinfeksi; dalam tubuh manusialah virus ini bertahan dan bereplikasi. **Portal keluar** adalah saat nyamuk *Aedes aegypti* (vektor) menggigit dan menghisap darah orang yang terinfeksi, membawa serta virus Dengue keluar dari tubuh reservoir. **Cara penularan** terjadi melalui vektor biologis, yaitu nyamuk *Aedes* yang terinfeksi tersebut. Setelah masa inkubasi ekstrinsik di dalam tubuh nyamuk, virus siap ditularkan. **Portal masuk** adalah ketika nyamuk yang sudah infeksi ini menggigit orang lain yang sehat, memasukkan virus melalui luka gigitan di kulit. Terakhir, **inang yang rentan** adalah individu yang belum memiliki kekebalan terhadap serotipe virus Dengue yang ditularkan. Jika individu ini memiliki imunitas yang lemah atau belum pernah terinfeksi sebelumnya, ia akan jatuh sakit, dan siklus pun berlanjut.

Diagram berikut menyajikan visualisasi dari keenam tautan dalam rantai penularan penyakit.



Gambar 2.1 Model Rantai Penularan Penyakit yang Mengilustrasikan Enam Tautan Krusial dalam Transmisi Penyakit Tular Vektor

Visualisasi ini membantu kita mengidentifikasi titik-titik intervensi. Misalnya, program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) dengan 3M Plus menargetkan mata rantai "Cara Penularan" dengan memberantas vektornya. Penggunaan losion anti-nyamuk atau kelambu menargetkan "Portal Masuk" dengan mencegah gigitan nyamuk. Vaksinasi Dengue yang sedang dikembangkan

bertujuan mengubah "Inang yang Rentan" menjadi inang yang kebal. Pemahaman holistik terhadap rantai ini sangat krusial, karena intervensi yang efektif sering kali merupakan kombinasi dari beberapa strategi yang menargetkan lebih dari satu mata rantai. Seperti yang ditekankan dalam penelitian tentang pencegahan penyakit menular di Jakarta, pendekatan yang berhasil memerlukan integrasi ilmu lingkungan, epidemiologi, dan kebijakan kesehatan untuk memutus rantai ini secara komprehensif (Tanjung, 2023).

DEFINISI

Rantai Penularan Penyakit adalah model konseptual dalam epidemiologi yang menggambarkan serangkaian tahapan yang harus dilalui oleh suatu agen penyakit untuk dapat berpindah dari satu inang ke inang lain, yang terdiri dari agen, reservoir, portal keluar, cara penularan, portal masuk, dan inang rentan.

D. Peran Agen dalam Penularan

Agen penyakit, atau agen patogen, merupakan mata rantai pertama dan pemicu utama dalam sistem penularan penyakit. Agen ini adalah mikroorganisme, seperti virus, bakteri, protozoa, atau cacing, yang memiliki kemampuan untuk menyebabkan penyakit pada inang. Dalam konteks penyakit tular vektor, peran agen tidak dapat dipisahkan dari interaksinya dengan vektor dan inang. Karakteristik intrinsik dari agen penyakit sangat menentukan pola, kecepatan, dan keparahan wabah. Beberapa karakteristik kunci yang perlu dipahami oleh praktisi kesehatan masyarakat adalah infektivitas, patogenisitas, dan virulensi.

Infektivitas adalah kemampuan agen untuk masuk, bertahan hidup, dan berkembang biak di dalam inang. Agen dengan infektivitas tinggi hanya memerlukan paparan dalam jumlah kecil untuk dapat menyebabkan infeksi. Virus Dengue, misalnya, memiliki infektivitas tinggi; satu gigitan nyamuk *Aedes aegypti* yang infektif sudah cukup untuk menularkan penyakit. **Patogenisitas** adalah kemampuan agen untuk menyebabkan penyakit pada inang yang terinfeksi. Tidak semua infeksi berujung pada sakit. Contohnya, banyak orang yang terinfeksi virus Zika tidak menunjukkan gejala sama sekali, menandakan patogenisitas yang tidak 100%. Sebaliknya, *Plasmodium falciparum*, agen malaria paling berbahaya, memiliki patogenisitas yang sangat tinggi. **Virulensi** mengacu pada derajat keparahan penyakit yang disebabkan oleh agen tersebut. Dua strain virus yang berbeda bisa memiliki virulensi yang berbeda pula. Strain virus Flu Burung H5N1 memiliki virulensi yang sangat tinggi dengan tingkat kematian lebih dari 50%, sementara virus flu musiman biasa memiliki virulensi yang jauh lebih rendah.

Di Indonesia, kita dapat melihat variasi peran agen ini dengan jelas. Ambil contoh malaria, penyakit yang disebabkan oleh protozoa dari genus *Plasmodium*. Di Papua, jenis yang dominan adalah *Plasmodium falciparum* dan *Plasmodium vivax*, keduanya memiliki patogenisitas dan virulensi yang relatif tinggi, menyebabkan beban penyakit yang berat. Intervensi yang dilakukan tidak hanya berfokus pada pengendalian vektor nyamuk *Anopheles sp.*, tetapi juga pada pengobatan yang cepat dan tepat untuk membunuh agen di dalam tubuh manusia (Suari, 2021). Di sisi lain, penyakit Demam Berdarah Dengue disebabkan oleh virus Dengue (DENV) yang memiliki empat serotipe (DENV-1, -2, -3, -4). Infeksi oleh satu serotipe akan memberikan kekebalan seumur hidup terhadap serotipe tersebut, namun infeksi sekunder oleh serotipe yang berbeda justru dapat meningkatkan virulensi melalui mekanisme *Antibody-Dependent Enhancement* (ADE), yang menyebabkan manifestasi klinis yang lebih parah seperti *Dengue Shock Syndrome*. Pemahaman akan karakteristik agen ini krusial dalam merancang program vaksinasi dan surveilans virologi. Identifikasi yang akurat terhadap agen penyakit dan vektornya merupakan aspek fundamental dalam surveilans dan strategi pengendalian, yang akan dibahas lebih lanjut pada Bab 4 dan Bab 8 (Nugroho, 2021).

E. Peran Vektor dan Reservoir

Dalam drama penularan penyakit, jika agen adalah sang antagonis utama, maka vektor dan reservoir adalah aktor pendukung yang perannya sangat krusial. Seringkali kedua istilah ini digunakan secara tumpang tindih, namun keduanya memiliki fungsi yang berbeda secara fundamental dalam rantai penularan. Membedakan peran keduanya adalah kunci untuk menentukan strategi intervensi yang paling tepat sasaran. **Vektor** adalah organisme, biasanya artropoda seperti nyamuk, lalat, atau pinjal, yang berfungsi sebagai "kendaraan" untuk memindahkan agen penyakit dari satu inang ke inang lainnya. Sementara itu, **Reservoir** adalah habitat alami tempat agen penyakit hidup, tumbuh, dan berkembang biak secara normal. Reservoir bisa berupa manusia, hewan, atau bahkan lingkungan (misalnya tanah atau air).

Terdapat dua tipe utama vektor: mekanis dan biologis. **Vektor mekanis** hanya memindahkan agen penyakit secara pasif tanpa ada perubahan atau perkembangan agen di dalam tubuhnya. Contoh klasik adalah lalat rumah (*Musca domestica*) yang hinggap di tinja yang terkontaminasi bakteri *Shigella* (penyebab disentri), lalu hinggap di makanan, memindahkan bakteri tersebut secara mekanis. **Vektor biologis**, sebaliknya, memiliki peran yang lebih kompleks. Agen penyakit mengalami siklus perkembangan atau multiplikasi (perbanyakan) di dalam tubuh vektor. Nyamuk *Aedes aegypti* adalah vektor biologis untuk virus Dengue. Virus tidak hanya menumpang, tetapi juga bereplikasi di dalam kelenjar liur nyamuk sebelum bisa ditularkan. Masa yang

dibutuhkan agen untuk berkembang di dalam vektor ini disebut periode inkubasi ekstrinsik.

Di Indonesia, interaksi antara vektor dan reservoir menciptakan pola penyakit yang khas. Untuk penyakit malaria, manusia adalah reservoir utama bagi *Plasmodium falciparum*, sementara nyamuk *Anopheles* betina bertindak sebagai vektor biologisnya. Penentuan wilayah reseptif malaria, seperti yang dilakukan di Perbukitan Menoreh, sangat bergantung pada keberadaan vektor ini (Widartono, 2022). Untuk penyakit leptospirosis, yang sering menjadi wabah pasca-banjir di Jakarta atau Semarang, reservoir utamanya adalah tikus. Bakteri *Leptospira* hidup di ginjal tikus dan diekskresikan melalui urin, yang kemudian mengkontaminasi genangan air. Manusia terinfeksi bukan melalui vektor, melainkan melalui kontak langsung dengan air yang terkontaminasi tersebut. Dalam kasus ini, tikus adalah reservoir, bukan vektor. Pemahaman ini mengarahkan intervensi pengendalian leptospirosis pada manajemen lingkungan dan pengendalian populasi tikus, bukan penyemprotan insektisida. Identifikasi larva nyamuk di tempat penampungan air juga merupakan strategi penting untuk menargetkan vektor pada fase pradewasa (Muhammad, 2022).

Untuk memperjelas perbedaan ini, berikut adalah perbandingan peran vektor dan reservoir pada beberapa penyakit tular vektor utama yang menjadi masalah kesehatan masyarakat di Indonesia.

Tabel 2.1 Perbandingan Peran Vektor dan Reservoir pada Penyakit Tular Vektor Utama di Indonesia

Penyakit	Agen Patogen	Vektor Utama	Reservoir Utama	Tipe Vektor	Catatan Konteks Indonesia
Demam Berdarah Dengue	Virus Dengue (DENV)	<i>Aedes aegypti</i> , <i>Ae. albopictus</i>	Manusia	Biologis	Endemis di hampir seluruh wilayah perkotaan padat penduduk.
Malaria	<i>Plasmodium sp.</i>	<i>Anopheles sp.</i>	Manusia	Biologis	Kasus tinggi di Indonesia Timur (Papua, NTT, Maluku) (Widartono

					, 2022).
Filariasis (Kaki Gajah)	Cacing filaria (<i>W. bancrofti</i> , <i>B. malayi</i>)	<i>Culex</i> , <i>Anopheles</i> , <i>Mansonia</i>	Manusia	Biologis	Program eliminasi nasional (BELKAGA) masih berjalan.
Leptospirosis	Bakteri <i>Leptospira interrogans</i>	Tidak ada (kontak langsung)	Tikus, hewan domestik	- (Tikus adalah reservoir)	Kasus meningkat saat banjir di kota besar seperti Jakarta & Semarang.
Pes	Bakteri <i>Yersinia pestis</i>	Pinjal (<i>Xenopsylla cheopis</i>)	Tikus dan hewan pengerat liar	Biologis	Pernah menjadi wabah di Boyolali; kini dalam pengawasan ketat.
Chikungunya	Virus Chikungunya (CHIKV)	<i>Aedes aegypti</i> , <i>Ae. albopictus</i>	Manusia, primata	Biologis	Sering terjadi <i>outbreak</i> bersamaan dengan DBD karena vektor yang sama.

Tabel di atas menunjukkan bahwa satu jenis hewan, seperti tikus, dapat berperan sebagai reservoir untuk beberapa penyakit yang berbeda (leptospirosis dan pes) dengan mekanisme penularan yang juga berbeda. Analisis yang cermat terhadap peran setiap komponen ini memungkinkan kita merancang program pengendalian yang lebih spesifik dan efektif.

F. Faktor Host dan Kerentanan

Mata rantai terakhir dalam siklus penularan adalah inang atau *host* yang rentan. Keberadaan agen, reservoir, dan vektor tidak akan menghasilkan kasus

penyakit jika tidak ada individu yang dapat terinfeksi. Kerentanan (*susceptibility*) seorang inang adalah kondisi di mana individu tersebut tidak memiliki resistensi yang cukup untuk melawan agen patogen tertentu sehingga dapat terinfeksi dan jatuh sakit. Faktor yang menentukan tingkat kerentanan ini sangat beragam, mencakup faktor biologis intrinsik, status kekebalan yang didapat, hingga faktor perilaku dan sosial yang memengaruhi tingkat paparan dan respons tubuh terhadap infeksi. Memahami faktor-faktor ini krusial untuk mengidentifikasi kelompok populasi berisiko tinggi dan merancang intervensi yang bersifat protektif.

Faktor biologis yang paling fundamental adalah status imunitas. Imunitas dapat bersifat alami atau didapat. Imunitas yang didapat bisa diperoleh secara aktif (misalnya setelah sembuh dari infeksi atau melalui vaksinasi) atau pasif (misalnya antibodi dari ibu ke janin). Seseorang yang pernah terinfeksi virus campak akan memiliki kekebalan seumur hidup, mengubah statusnya dari "rentan" menjadi "kebal". Faktor lain seperti usia juga sangat berpengaruh; bayi, balita, dan lansia seringkali lebih rentan karena sistem imun mereka belum matang atau sudah menurun. Faktor genetik, status gizi (malnutrisi dapat menekan fungsi imun), dan ada atau tidaknya penyakit penyerta (komorbiditas) juga memainkan peran penting dalam menentukan apakah suatu infeksi akan berkembang menjadi penyakit yang parah.

Selain faktor biologis, perilaku individu dan sosial adalah penentu kerentanan yang tidak kalah penting. Perilaku ini secara langsung memengaruhi "peluang" paparan terhadap agen atau vektor. Sebagai contoh, di daerah endemis malaria di Nusa Tenggara Timur, kebiasaan masyarakat untuk tidak menggunakan kelambu berinsektisida atau sering beraktivitas di luar rumah pada malam hari (saat nyamuk *Anopheles* aktif) akan meningkatkan risiko gigitan nyamuk dan penularan malaria secara signifikan. Sebaliknya, individu yang secara konsisten menggunakan repelan, memakai baju lengan panjang, dan tidur di dalam kelambu memiliki risiko yang jauh lebih rendah. Perilaku ini seringkali dipengaruhi oleh faktor sosial-ekonomi dan budaya, seperti tingkat pendidikan, akses terhadap informasi, dan persepsi risiko. Upaya pemberdayaan masyarakat, seperti peran kader dalam program pengendalian TB, menunjukkan bahwa intervensi pada level komunitas dapat mengubah perilaku dan memperkuat sistem pengendalian penyakit (Kurniawan, 2022).

CONTOH

Di sebuah kelurahan padat penduduk di Jakarta Utara yang sering dilanda banjir rob, kasus leptospirosis meningkat tajam. Analisis faktor host menunjukkan bahwa kelompok paling rentan adalah anak-anak yang sering bermain di genangan air tanpa alas kaki, dan para pekerja informal (pemulung, petugas kebersihan) yang setiap hari harus berkontak dengan lingkungan yang berpotensi terkontaminasi urin tikus. Anak-anak rentan karena perilaku bermain mereka, sementara para pekerja rentan karena tuntutan pekerjaan mereka. Intervensi yang efektif tidak bisa hanya berupa penyuluhan "jangan main di banjir", tetapi juga harus mencakup penyediaan alat pelindung diri (sepatu bot) bagi kelompok pekerja dan upaya modifikasi lingkungan untuk mengurangi genangan air. Dalam konteks yang lebih luas, pengendalian diri mahasiswa dalam mengelola keuangan di era pandemi, yang dipengaruhi oleh teman sebaya dan lingkungan, memberikan analogi tentang bagaimana faktor eksternal dapat memengaruhi keputusan dan perilaku individu, termasuk perilaku sehat (Lesminda, 2021).

G. Pengaruh Lingkungan Fisik, Biologis, Sosial, Dan Perilaku

Rantai penularan penyakit tidak beroperasi di dalam ruang hampa. Seluruh sistem—agen, vektor, reservoir, dan inang—berada dan berinteraksi dalam sebuah konteks lingkungan yang kompleks. Lingkungan, dalam arti luas, bertindak sebagai "panggung" sekaligus "sutradara" yang dapat memfasilitasi, mempercepat, atau sebaliknya, menghambat proses penularan. Untuk tujuan analisis, pengaruh lingkungan ini dapat dikategorikan menjadi lingkungan fisik, biologis, serta sosial dan perilaku. Memahami dan memodifikasi faktor-faktor lingkungan ini seringkali menjadi strategi pengendalian vektor yang paling berkelanjutan dan berdampak luas.

Lingkungan fisik mencakup elemen-elemen abiotik seperti iklim (suhu, kelembapan, curah hujan), geografi (ketinggian, topografi), dan hidrologi (keberadaan sumber air). Faktor-faktor ini sangat memengaruhi siklus hidup dan distribusi geografis vektor. Nyamuk *Aedes aegypti*, vektor demam berdarah, misalnya, sangat sensitif terhadap suhu. Peningkatan suhu dapat mempercepat siklus hidupnya dari telur menjadi dewasa dan juga memperpendek periode inkubasi ekstrinsik virus di dalam tubuh nyamuk, yang berarti penularan menjadi lebih cepat. Curah hujan yang tinggi di Indonesia menciptakan banyak genangan air bersih di barang-barang bekas, talang air, dan ban bekas, yang merupakan tempat perindukan ideal bagi nyamuk ini. Inilah sebabnya mengapa kasus DBD sering memuncak pada musim penghujan. Analisis spasial berdasarkan data lingkungan fisik menjadi krusial dalam menentukan wilayah prioritas intervensi (Widartono, 2022).

Lingkungan biologis terdiri dari semua organisme hidup lain di ekosistem, termasuk vegetasi, predator, dan kompetitor vektor. Keberadaan predator alami seperti ikan pemakan jentik (misalnya ikan cupang) atau larva capung di sebuah genangan air dapat secara signifikan mengurangi populasi larva nyamuk. Sebaliknya, deforestasi atau perubahan tata guna lahan dapat menghilangkan habitat predator alami dan menciptakan kondisi yang lebih menguntungkan bagi perkembangbiakan vektor. Vegetasi tertentu di sekitar rumah, seperti semak belukar yang rimbun dan lembap, dapat menjadi tempat istirahat (*resting place*) yang ideal bagi nyamuk dewasa, meningkatkan peluang kontak antara vektor dan manusia.

Lingkungan sosial dan perilaku adalah dimensi yang paling kompleks dan seringkali menjadi penentu utama keberhasilan program pengendalian. Ini mencakup faktor-faktor seperti kepadatan penduduk, urbanisasi, sanitasi lingkungan, sistem pengelolaan sampah, mobilitas manusia, tingkat pendidikan, norma sosial, hingga kebijakan pemerintah. Urbanisasi yang tidak terencana di kota-kota seperti Jakarta, Surabaya, dan Medan menciptakan lingkungan padat penduduk dengan sanitasi yang buruk dan sistem drainase yang tidak memadai, menjadi surga bagi perkembangbiakan nyamuk *Aedes* dan tikus. Praktik pengelolaan sampah yang buruk, di mana sampah rumah tangga menumpuk dan tidak didaur ulang, secara langsung menciptakan tempat perindukan vektor (Sawitri, 2023; Harmana, 2021). Bahkan, sebuah kegiatan sosialisasi untuk menciptakan lingkungan sehat bebas dari sampah dan vektor menunjukkan betapa pentingnya pemberdayaan masyarakat dalam mengubah perilaku kolektif (Fazri, 2023). Kebijakan pemerintah, seperti alokasi anggaran untuk program PSN (Pemberantasan Sarang Nyamuk) atau pembangunan infrastruktur sanitasi, juga merupakan bagian dari lingkungan sosial yang memiliki dampak langsung terhadap risiko penyakit tular vektor. Buruknya sarana air bersih dan kondisi jamban, misalnya, terbukti berhubungan dengan kejadian diare, sebuah analogi kuat untuk penyakit lain yang terkait dengan kondisi lingkungan (Rau, 2021).

H. Rangkuman

Sistem penularan penyakit tular vektor merupakan interaksi dinamis yang dapat dipetakan menggunakan kerangka konseptual rantai penularan penyakit. Model ini, yang terdiri dari enam tautan—agen penyakit, reservoir, portal keluar, cara penularan, portal masuk, dan inang rentan—berfungsi sebagai peta jalan bagi praktisi kesehatan masyarakat untuk mengidentifikasi titik-titik intervensi strategis. Memutus salah satu mata rantai ini, seperti yang diilustrasikan pada kasus Demam Berdarah Dengue (DBD), dapat menghambat atau menghentikan transmisi. Efektivitas intervensi bergantung pada pemahaman mendalam terhadap setiap komponen, terutama agen penyakit dan perannya sebagai

pemicu. Karakteristik agen seperti infektivitas, patogenisitas, dan virulensi secara langsung menentukan dinamika wabah, tingkat keparahan penyakit, dan strategi yang diperlukan. Contohnya, virulensi tinggi *Plasmodium falciparum* di Papua menuntut respons pengobatan yang cepat, sementara fenomena *Antibody-Dependent Enhancement* (ADE) pada virus Dengue menyoroti kompleksitas dalam pengembangan vaksin dan manajemen klinis infeksi sekunder. Lebih lanjut, membedakan secara jelas antara peran vektor sebagai "kendaraan" transmisi dan reservoir sebagai "habitat" alami agen adalah fundamental. Perbedaan ini menentukan apakah fokus pengendalian harus diarahkan pada pemberantasan organisme pembawa (seperti nyamuk *Aedes*) atau pada pengelolaan populasi di mana patogen tersebut bertahan dan berkembang biak. Pada akhirnya, pengendalian vektor yang komprehensif dan berkelanjutan menuntut pendekatan terintegrasi yang menargetkan beberapa mata rantai secara simultan, menggabungkan strategi pengendalian lingkungan, surveilans epidemiologi, dan intervensi klinis.

I. Latihan Mahasiswa

a. Essay

1. Analisislah bagaimana program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) dengan 3M Plus dan program vaksinasi Dengue secara konseptual menargetkan mata rantai yang berbeda dalam rantai penularan penyakit. Jelaskan mengapa kombinasi kedua intervensi ini secara teoretis lebih efektif daripada hanya menerapkan salah satunya untuk mengendalikan DBD di suatu wilayah endemis.
2. Bandingkan dan kontraskan peran agen penyakit dalam dinamika penularan Malaria Falciparum dan Demam Berdarah Dengue di Indonesia, berdasarkan cuplikan bab. Telaah bagaimana perbedaan karakteristik infektivitas, patogenisitas, dan virulensi dari *Plasmodium falciparum* dan virus Dengue (termasuk mekanisme ADE) menghasilkan tantangan pengendalian yang unik untuk masing-masing penyakit.
3. Evaluasilah pernyataan berikut: "Dalam konteks penyakit tular vektor, memutus mata rantai 'Cara Penularan' dengan mengendalikan vektor selalu menjadi strategi yang paling prioritas dan efektif." Rumuskan argumen yang mendukung atau menyanggah pernyataan ini dengan menggunakan contoh-contoh dari konsep rantai penularan dan peran reservoir yang telah dibahas.
4. Bayangkan Anda adalah seorang kepala dinas kesehatan di sebuah kabupaten yang belum pernah melaporkan kasus Chikungunya. Tiba-tiba, terjadi lonjakan kasus demam dan nyeri sendi hebat yang dicurigai sebagai Chikungunya. Rumuskan langkah-langkah investigasi awal Anda

dengan berpedoman pada enam komponen rantai penularan penyakit untuk mengonfirmasi sistem penularan dan merancang respons awal.

5. Argumentasikan mengapa pemahaman yang keliru antara konsep 'reservoir' dan 'inang yang rentan' dapat menyebabkan kegagalan fatal dalam program pengendalian penyakit zoonosis yang ditularkan oleh vektor. Gunakan sebuah contoh hipotetis untuk mengilustrasikan bagaimana kesalahan identifikasi ini dapat mengarahkan sumber daya ke intervensi yang tidak tepat sasaran.

b. Pilihan Berganda

1. Dalam model rantai penularan penyakit, program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) 3M Plus secara primer bertujuan untuk memutus mata rantai...
 - a. Agen Penyakit
 - b. Reservoir
 - c. Cara Penularan
 - d. Inang Rentan
2. Manusia yang terinfeksi virus Dengue dan menjadi sumber penularan bagi nyamuk *Aedes aegypti* memainkan peran sebagai...
 - a. Vektor
 - b. Reservoir
 - c. Inang Definitif
 - d. Agen Penyakit
3. Kemampuan agen penyakit untuk menyebabkan penyakit pada individu yang telah terinfeksi disebut...
 - a. Infektivitas
 - b. Virulensi
 - c. Immunogenisitas
 - d. Patogenisitas
4. Fenomena di mana infeksi sekunder oleh serotipe virus Dengue yang berbeda justru menyebabkan manifestasi klinis yang lebih parah dikenal sebagai...
 - a. *Antibody-Dependent Enhancement* (ADE)
 - b. *Cross-Protective Immunity*
 - c. *Original Antigenic Sin*
 - d. *Viral Shedding Enhancement*
5. Menurut konsep rantai penularan, kulit yang terluka akibat gigitan nyamuk infeksi merupakan contoh dari...
 - a. Portal Keluar
 - b. Portal Masuk
 - c. Reservoir Lingkungan

- d. Cara Penularan
6. Seorang turis mengunjungi daerah endemis malaria tetapi tidak jatuh sakit meskipun digigit nyamuk. Namun, hasil tes laboratorium menunjukkan adanya parasit malaria dalam darahnya. Dalam kasus ini, *Plasmodium* menunjukkan infektivitas yang berhasil namun patogenisitas yang...
- a. Tinggi
 - b. Rendah atau tidak terekspresikan
 - c. Tidak relevan
 - d. Cepat
7. Pernyataan yang paling tepat untuk membedakan vektor dan reservoir adalah...
- a. Vektor selalu berupa artropoda, sedangkan reservoir selalu berupa manusia.
 - b. Vektor adalah tempat agen berkembang biak, sedangkan reservoir hanya membawa agen secara pasif.
 - c. Vektor adalah organisme yang memindahkan agen, sedangkan reservoir adalah habitat alami tempat agen hidup dan bereplikasi.
 - d. Vektor menyebabkan penyakit secara langsung, sedangkan reservoir tidak.
8. Tingkat keparahan atau keganasan penyakit yang disebabkan oleh suatu agen patogen, seperti perbandingan antara flu burung H5N1 dan flu musiman, diukur dengan istilah...
- a. Infektivitas
 - b. Patogenisitas
 - c. Virulensi
 - d. Toksisitas
9. Dalam siklus penularan DBD, momen ketika nyamuk *Aedes aegypti* menghisap darah orang yang terinfeksi virus Dengue merupakan ilustrasi dari...
- a. Portal Masuk
 - b. Inang Rentan
 - c. Portal Keluar
 - d. Cara Penularan
10. Tujuan utama dari model konseptual Rantai Penularan Penyakit dalam praktik kesehatan masyarakat adalah untuk...
- a. Mengidentifikasi dan mengklasifikasikan mikroorganisme baru.
 - b. Menentukan diagnosis klinis pasien secara akurat.
 - c. Menghitung angka kematian akibat suatu wabah.

- d. Mengidentifikasi titik-titik lemah untuk intervensi dan pengendalian penyakit.

c. Soal Project / Studi Kasus

1. Di sebuah desa transmigrasi di Kalimantan, terjadi peningkatan kasus demam tinggi yang disertai lesi kulit yang tidak biasa. Penduduk desa banyak bekerja sebagai perambah hutan dan melaporkan banyak gigitan tungau dari semak belukar. Penyakit ini tidak merespons antibiotik standar. Sebagai tim surveilans dari Kementerian Kesehatan, Anda ditugaskan untuk melakukan investigasi epidemiologi awal. Uraikan bagaimana Anda akan menggunakan keenam mata rantai penularan penyakit sebagai kerangka kerja untuk memandu penyelidikan Anda. Untuk setiap mata rantai, sebutkan setidaknya satu pertanyaan kunci yang harus dijawab atau data spesifik yang perlu dikumpulkan.
2. Kota A berhasil menekan angka kasus DBD hingga di bawah ambang batas selama lima tahun berturut-turut melalui program juru pemantau jentik (Jumantik) yang sangat aktif dan fogging insidental yang responsif. Namun, pada tahun keenam, terjadi ledakan kasus yang dua kali lebih tinggi dari rekor wabah terburuk sebelumnya, dengan proporsi kasus *Dengue Shock Syndrome* (DSS) yang signifikan. Analisislah situasi ini menggunakan konsep dari bab ini. Rumuskan setidaknya tiga hipotesis yang dapat menjelaskan fenomena ini, kaitkan masing-masing hipotesis dengan konsep spesifik (misal: karakteristik agen, peran inang, atau dinamika vektor).

BAB 3

BIOLOGI DAN PERILAKU VEKTOR

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah menyelesaikan pembahasan pada bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menerapkan pengetahuan tentang siklus hidup vektor untuk menentukan titik intervensi pengendalian yang paling efektif pada program pemberantasan sarang nyamuk (PSN) Demam Berdarah Dengue.
2. Menentukan potensi habitat perkembangbiakan vektor malaria (*Anopheles sp.*) di area persawahan dan vektor filariasis (*Culex sp.*) di area perkotaan kumuh berdasarkan analisis karakteristik ekologisnya.
3. Mengimplementasikan pemilihan metode pengendalian yang tepat, seperti penggunaan kelambu berinsektisida atau modifikasi jam operasional penyemprotan, berdasarkan analisis data perilaku menggigit (misalnya, endofagik vs. eksofagik) dan istirahat vektor.
4. Menganalisis implikasi preferensi inang vektor (antropofilik vs. zoofilik) terhadap risiko penularan penyakit zoonosis seperti Japanese Encephalitis di wilayah dengan populasi manusia dan ternak yang berdekatan.
5. Menghitung nilai dasar *vectorial capacity* untuk memprediksi potensi terjadinya wabah penyakit tular vektor di suatu wilayah dengan menggunakan data entomologis dan demografis yang tersedia.

B. Pengantar

Upaya pengendalian vektor penyakit seringkali dihadapkan pada sebuah ironi: intervensi masif yang mahal tidak selalu menghasilkan dampak yang sepadan. Bayangkan sebuah program fogging atau pengasapan yang dilaksanakan secara rutin di sebuah kota padat penduduk di Indonesia untuk menekan kasus Demam Berdarah Dengue (DBD). Meskipun asap insektisida menyelimuti lingkungan, beberapa minggu kemudian kasus kembali melonjak. Mengapa demikian? Jawabannya terletak pada pemahaman yang dangkal terhadap "musuh" yang dihadapi. Fogging hanya efektif membunuh nyamuk dewasa (*Aedes aegypti*) yang sedang aktif terbang, namun sama sekali tidak menyentuh populasi jentik yang aman berkembang biak di dalam genangan air jernih di tempat-tempat tersembunyi: dispenser air minum, tatakan pot bunga, hingga ban bekas yang terisi air hujan. Kegagalan ini adalah contoh nyata bagaimana intervensi yang mengabaikan biologi dan perilaku vektor hanya menjadi solusi sementara yang boros sumber daya. Vektor bukanlah target statis yang bisa dimusnahkan dengan satu jurus; mereka adalah organisme hidup

dengan siklus hidup yang kompleks, adaptasi ekologis yang menakjubkan, dan perilaku spesifik yang berevolusi untuk bertahan hidup. Seorang ahli kesehatan masyarakat tidak bisa hanya bertindak sebagai "eksekutor" teknis pengendalian, melainkan harus mampu berpikir layaknya seorang ahli strategi militer yang memahami musuhnya secara mendalam sebelum merancang serangan yang presisi dan efisien.

Bab ini akan membekali Anda dengan kerangka pengetahuan fundamental untuk menjadi ahli strategi tersebut. Memahami biologi dan perilaku vektor adalah fondasi dari setiap program pengendalian yang berbasis bukti (*evidence-based*). Kita akan membedah mengapa pengetahuan ini krusial untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan praktis di lapangan. Misalnya, dengan memahami **siklus hidup**, kita dapat menentukan apakah intervensi paling efektif menargetkan fase telur, larva/jentik, atau dewasa. Melalui studi **habitat dan ekologi**, kita dapat memetakan dan mengeliminasi "sarang" atau lokasi perindukan utama vektor, seperti mengidentifikasi tipe genangan air yang disukai larva *Anopheles* di area pedesaan untuk pengendalian malaria. Selanjutnya, analisis **perilaku menggigit dan istirahat** akan menjadi kunci untuk menentukan metode perlindungan diri yang paling relevan. Sebagai contoh, perilaku nyamuk *Anopheles* vektor malaria yang cenderung menggigit di dalam rumah pada malam hari (endofagik, nokturnal) menjadikan penggunaan kelambu berinsektisida sangat efektif. Sebaliknya, untuk vektor yang aktif di luar rumah (eksofagik), strategi yang berbeda diperlukan. Kita juga akan mengkaji **preferensi inang** untuk memahami mengapa beberapa penyakit lebih mudah menyebar di area di mana manusia dan hewan ternak hidup berdekatan. Terakhir, semua pengetahuan kualitatif ini akan kita kuantifikasi melalui konsep **vector competence** dan **vectorial capacity**, yang memungkinkan kita memodelkan dan memprediksi potensi suatu populasi vektor untuk menyebabkan wabah di sebuah komunitas.

C. Siklus Hidup Vektor

Memahami siklus hidup vektor adalah langkah pertama dan paling fundamental dalam merancang strategi pengendalian yang efektif. Siklus hidup, atau metamorfosis, adalah serangkaian perubahan bentuk yang dialami organisme dari telur hingga menjadi dewasa. Dalam konteks pengendalian vektor, setiap tahap dalam siklus hidup ini menawarkan "jendela peluang" yang unik untuk intervensi. Mengabaikan satu tahap dan hanya fokus pada tahap lainnya sering kali menjadi penyebab kegagalan program pengendalian jangka panjang. Secara umum, vektor serangga mengalami dua tipe metamorfosis: metamorfosis tidak sempurna (*hemimetabola*) dan metamorfosis sempurna (*holometabola*). Vektor seperti kecoa dan kutu busuk mengalami metamorfosis tidak sempurna, di mana telur menetas menjadi nimfa yang merupakan versi miniatur dari dewasanya, lalu tumbuh melalui serangkaian proses ganti kulit

(*moulting*) hingga dewasa. Sebaliknya, vektor yang paling signifikan secara medis, seperti nyamuk dan lalat, mengalami metamorfosis sempurna.

Metamorfosis sempurna terdiri dari empat tahap yang sangat berbeda secara morfologi dan ekologi: telur, larva, pupa, dan dewasa. Mari kita ambil contoh kasus *Aedes aegypti*, vektor utama Demam Berdarah Dengue (DBD) di Indonesia.

1. **Telur:** Nyamuk betina meletakkan telur di dinding bagian dalam kontainer berisi air, tepat di atas garis air. Telur ini memiliki kemampuan luar biasa untuk bertahan dalam kondisi kering selama berbulan-bulan, sebuah adaptasi yang disebut *diapause*. Ketika air kembali menggenangi kontainer, telur akan menetas. Kemampuan bertahan ini menjelaskan mengapa kasus DBD bisa tiba-tiba meledak setelah musim hujan tiba.
2. **Larva (Jentik):** Setelah menetas, larva hidup sepenuhnya di dalam air. Mereka bernapas melalui sifon di ujung posterior tubuhnya dan sangat aktif mencari makan, biasanya berupa mikroorganisme dan partikel organik di dalam air. Fase larva ini terdiri dari empat tingkatan (instar) dan biasanya berlangsung selama 5-7 hari, tergantung pada suhu dan ketersediaan makanan. Studi di Indonesia menunjukkan bahwa jenis air, seperti air sumur atau air PAM, dapat memengaruhi kecepatan perkembangan larva (Prameswarie, 2023). Fase larva adalah target utama program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) karena jentik relatif mudah ditemukan, tidak bisa terbang, dan terkonsentrasi di habitat perindukan (Muhammad, 2022).
3. **Pupa:** Setelah instar keempat, larva berubah menjadi pupa. Fase ini bersifat akuatik tetapi non-feeding (tidak makan). Pupa tetap aktif bergerak jika terganggu. Di dalam cangkang pupa, terjadi transformasi dramatis dari bentuk larva menjadi bentuk nyamuk dewasa. Fase ini biasanya berlangsung selama 1-2 hari.
4. **Dewasa (Imago):** Nyamuk dewasa keluar dari cangkang pupa di permukaan air dan terbang setelah sayapnya kering dan mengeras. Hanya nyamuk betina yang menggigit dan mengisap darah untuk memperoleh protein yang dibutuhkan untuk pematangan telur, sementara nyamuk jantan mengisap nektar bunga.

CONTOH

Sebuah program pengendalian DBD di Kota Denpasar, Bali, yang awalnya hanya berfokus pada *fogging* (pengasapan) untuk membunuh nyamuk dewasa, menunjukkan hasil yang tidak signifikan dalam menekan angka kasus. Setelah analisis, tim kesehatan masyarakat menyadari bahwa populasi larva di dalam jutaan tempat penampungan air di rumah-rumah warga tetap utuh dan terus menghasilkan nyamuk dewasa baru. Program kemudian dimodifikasi untuk mengintegrasikan kegiatan "Juru Pemantau Jentik" (Jumantik) yang secara rutin memeriksa dan mengeliminasi sarang nyamuk. Strategi terpadu yang menargetkan fase larva dan dewasa ini terbukti jauh lebih berhasil menekan transmisi virus dengue (Adnyana, 2022).

Implikasi dari pemahaman siklus hidup ini sangat praktis. Untuk mengendalikan *Aedes aegypti*, menargetkan fase larva melalui gerakan 3M Plus (Menguras, Menutup, Mendaur ulang, plus tindakan pencegahan lainnya) adalah intervensi paling berkelanjutan dan efektif dari segi biaya. Ini adalah intervensi pada "hulu" masalah. Sebaliknya, *fogging* yang menargetkan nyamuk dewasa adalah intervensi "hilir" yang bersifat reaktif dan seringkali dibutuhkan saat penularan sudah terjadi secara masif. Tanpa pemahaman siklus hidup, kita hanya akan memadamkan "api" di permukaan tanpa pernah mematikan "bara" di sumbernya.

D. Habitat dan Ekologi Vektor

Setiap spesies vektor memiliki preferensi habitat dan ceruk ekologi (*ecological niche*) yang spesifik. Habitat adalah alamat fisik di mana vektor hidup, berkembang biak, dan mencari makan, sementara ekologi mempelajari interaksi kompleks antara vektor tersebut dengan lingkungannya, baik komponen biotik (organisme lain) maupun abiotik (suhu, kelembaban, cahaya, kimia air). Memahami di mana vektor "bersarang" dan faktor-faktor apa yang mendukung keberlangsungan hidupnya adalah kunci untuk melakukan *source reduction* atau eliminasi tempat perindukan, yang merupakan salah satu pilar utama dalam *Integrated Vector Management* (IVM). Kegagalan memetakan habitat spesifik seringkali berujung pada alokasi sumber daya pengendalian yang tidak tepat sasaran.

Habitat vektor dapat dibagi menjadi dua kategori utama: habitat akuatik untuk tahap pra-dewasa (telur, larva, pupa) dan habitat terestrial untuk tahap dewasa (tempat istirahat dan mencari makan). Untuk vektor nyamuk, karakteristik habitat akuatik sangat menentukan spesies apa yang dapat berkembang biak di suatu lokasi. Sebagai contoh, di Indonesia, tiga genus nyamuk utama memiliki preferensi habitat perindukan yang sangat berbeda. *Aedes aegypti*, vektor DBD, Chikungunya, dan Zika, secara spesifik beradaptasi

dengan lingkungan buatan manusia (*man-made habitats*). Larvanya berkembang biak di genangan air jernih yang relatif kecil dan terlindung, seperti bak mandi, drum penampungan air, vas bunga, tatakan dispenser, dan ban bekas. Studi di Kota Bandung menunjukkan korelasi kuat antara keberadaan kontainer-kontainer ini di sekitar rumah dengan tingginya kepadatan larva *Aedes* (Sutriyawan, 2023).

Berbeda dengan *Aedes*, nyamuk *Anopheles*, vektor malaria, umumnya memilih habitat perindukan yang lebih alami dan luas. Spesies seperti *Anopheles sundaicus* berkembang biak di air payau di area pesisir, sementara *Anopheles aconitus* dan *Anopheles maculatus* lebih menyukai genangan air tawar yang jernih dan terkena sinar matahari, seperti di area persawahan, pinggiran sungai yang arusnya lambat, atau bekas galian tambang. Program eliminasi malaria di Kabupaten Purworejo, misalnya, harus memfokuskan surveilans dan intervensi pada area persawahan dan perbukitan yang memiliki banyak genangan air alami sebagai habitat potensial vektor (Fitriani, 2023). Sementara itu, nyamuk *Culex quinquefasciatus*, vektor utama filariasis limfatik (kaki gajah) di perkotaan, justru berkembang pesat di habitat air yang kotor dan kaya bahan organik, seperti selokan yang tersumbat, septic tank yang meluap, dan kubangan air limbah. Buruknya sistem sanitasi dan pengelolaan sampah di kawasan kumuh perkotaan secara langsung menciptakan habitat ideal bagi *Culex* (Rahmayani, 2021).

Tabel 3.1 Karakteristik Habitat Perindukan Utama Tiga Genus Nyamuk Vektor di Indonesia

Karakteristik	<i>Aedes sp.</i> (contoh: <i>A. aegypti</i>)	<i>Anopheles sp.</i> (contoh: <i>A. maculatus</i>)	<i>Culex sp.</i> (contoh: <i>C. quinquefasciatus</i>)
Lokasi Dominan	Perkotaan, area permukiman padat	Pedesaan, area pertanian, pesisir	Perkotaan dan pedesaan, terutama area kumuh
Tipe Kontainer	Buatan manusia (artificial), kecil-sedang	Alami, genangan air luas	Alami dan buatan, terutama yang tercemar
Kualitas Air	Jernih, rendah bahan organik	Jernih, cenderung tidak tercemar	Keruh, kaya bahan organik, tercemar limbah
Paparan Sinar	Teduh hingga sedikit	Umumnya terpapar	Teduh hingga terpapar

Matahari	terpapar	sinar matahari langsung	
Contoh Spesifik	Bak mandi, drum, ban bekas, dispenser	Sawah, pinggir sungai, bekas galian, laguna	Selokan, got, septic tank, kubangan air kotor
Penyakit Terkait	DBD, Chikungunya, Zika	Malaria, sebagian Filariasis	Filariasis Limfatik, Japanese Encephalitis

Tabel di atas secara jelas mengilustrasikan bagaimana setiap genus nyamuk telah beradaptasi dengan ceruk ekologi yang berbeda, yang berimplikasi langsung pada strategi pengendalian yang harus diterapkan di lapangan.

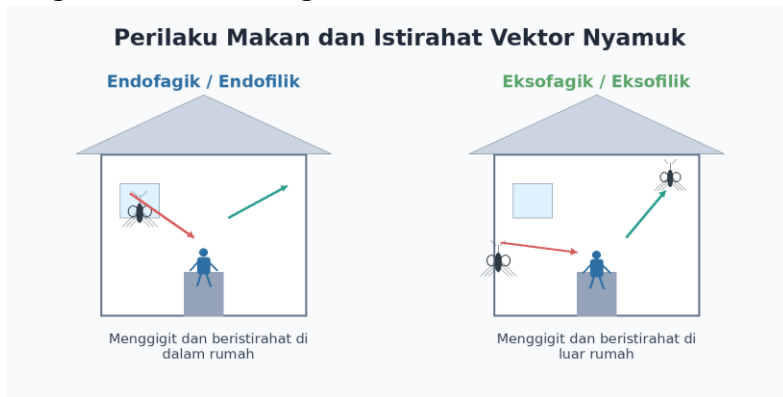
Faktor ekologi lain seperti suhu, kelembaban, dan curah hujan juga sangat memengaruhi dinamika populasi vektor. Suhu yang lebih hangat mempercepat siklus hidup nyamuk dan periode inkubasi ekstrinsik patogen di dalam tubuhnya. Kelembaban tinggi memperpanjang umur nyamuk dewasa. Curah hujan, di satu sisi, dapat menciptakan banyak habitat perindukan baru, namun di sisi lain, hujan deras juga dapat menyapu bersih larva dari habitatnya. Pemahaman terhadap ekologi vektor ini memungkinkan kita untuk mengembangkan model prediksi risiko penyakit tular vektor berbasis cuaca dan lingkungan, yang akan dibahas lebih lanjut pada Bab 9.

E. Perilaku Menggigit dan Istirahat

Setelah menjadi dewasa, perilaku vektor menjadi faktor penentu utama dalam proses penularan penyakit. Dua aspek perilaku yang paling krusial dari sudut pandang kesehatan masyarakat adalah perilaku mencari makan (menggigit) dan perilaku beristirahat. Analisis mendalam terhadap kedua perilaku ini memungkinkan kita untuk merancang intervensi yang secara presisi "memotong" kontak antara vektor dan manusia pada waktu dan tempat yang paling rentan. Kegagalan dalam memahami perilaku ini dapat membuat metode pengendalian yang mahal menjadi sia-sia. Perilaku ini dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa dimensi, seperti waktu aktivitas (kapan), lokasi aktivitas (di mana), dan preferensi sumber darah (siapa), yang akan dibahas lebih lanjut pada sub-bab berikutnya.

Perilaku menggigit berkaitan dengan kapan dan di mana vektor mencari darah. Berdasarkan waktu, vektor dapat diklasifikasikan sebagai **diurnal** (aktif pada siang hari), **nokturnal** (aktif pada malam hari), atau **krepuskular** (aktif pada waktu senja dan fajar). Contoh klasik adalah *Aedes aegypti*, yang merupakan vektor diurnal. Puncak aktivitas menggigitnya terjadi pada pagi hari

(sekitar pukul 08.00-10.00) dan sore hari menjelang senja (sekitar pukul 15.00-17.00). Pengetahuan ini sangat aplikatif: anjuran untuk menggunakan losion anti-nyamuk atau menghindari aktivitas di luar rumah tanpa perlindungan pada jam-jam tersebut menjadi sangat relevan. Sebaliknya, sebagian besar spesies *Anopheles* vektor malaria adalah nokturnal, dengan puncak aktivitas menggigit pada tengah malam. Perilaku ini adalah justifikasi ilmiah utama di balik keberhasilan program penggunaan kelambu berinsektisida (*Long-Lasting Insecticidal Nets* / LLINs), karena kelambu memberikan perlindungan fisik dan kimiawi tepat pada saat manusia sedang tidur dan tidak sadar, sementara vektor sedang paling aktif mencari mangsa.



Gambar 3.1 Perbedaan Perilaku Endofagik/Endofilik dan Eksofagik/Eksofilik pada Vektor Nyamuk.

Diagram di atas mengilustrasikan klasifikasi perilaku berdasarkan lokasi. **Endofagik** adalah perilaku menggigit di dalam ruangan, sedangkan **eksofagik** adalah perilaku menggigit di luar ruangan. Perilaku istirahat juga serupa: **endofilik** adalah kecenderungan untuk beristirahat di dalam ruangan setelah mengisap darah (misalnya di dinding, di bawah perabotan, atau di balik gorden), sementara **eksofilik** adalah kecenderungan untuk beristirahat di luar ruangan (misalnya di vegetasi, lubang pohon, atau kandang ternak).

Kombinasi dari perilaku-perilaku ini memiliki implikasi besar. Vektor yang bersifat endofagik dan endofilik, seperti banyak populasi *Anopheles gambiae* di Afrika, sangat rentan terhadap intervensi dalam ruangan seperti penyemprotan dinding rumah dengan insektisida (*Indoor Residual Spraying* / IRS) dan penggunaan LLINs. Namun, tantangan muncul ketika vektor menunjukkan perilaku yang lebih fleksibel atau cenderung eksofagik/eksofilik. Di beberapa daerah endemis malaria di Indonesia, seperti di Kabupaten Bangka Barat, dilaporkan adanya pergeseran perilaku pada beberapa populasi *Anopheles* yang menjadi lebih eksofagik, menggigit orang yang beraktivitas di luar rumah pada malam hari (misalnya penambang timah atau nelayan) (Asmiani, 2021). Perilaku ini, yang dikenal sebagai *residual transmission*, tidak dapat dikendalikan hanya

dengan LLINs atau IRS, dan memerlukan strategi tambahan seperti penggunaan losion anti-nyamuk atau *spatial repellents*. Pemahaman perilaku hewan secara umum, termasuk plastisitasnya dalam merespons tekanan lingkungan seperti penggunaan insektisida, menjadi krusial (Amrullah, 2021). Oleh karena itu, surveilans entomologi tidak hanya harus mengukur kepadatan vektor, tetapi juga secara rutin memantau perilakunya untuk memastikan strategi pengendalian tetap relevan dan efektif.

F. Preferensi Inang (*host preference*)

Setelah memutuskan kapan dan di mana akan mencari makan, pertanyaan berikutnya yang dihadapi vektor adalah "siapa" yang akan digigit. Preferensi inang, atau *host preference*, adalah kecenderungan bawaan suatu spesies vektor untuk memilih sumber darah dari spesies inang tertentu dibandingkan yang lain. Pilihan ini bukanlah suatu kebetulan, melainkan hasil dari evolusi panjang di mana vektor mengembangkan kemampuan untuk mendeteksi isyarat-isyarat spesifik yang dipancarkan oleh inang targetnya, seperti karbondioksida (CO₂), panas tubuh, asam laktat, dan senyawa volatil lainnya. Dari perspektif epidemiologi, preferensi inang adalah salah satu determinan paling kritis yang menentukan dinamika penularan penyakit. Vektor dengan preferensi kuat terhadap manusia akan secara efisien menularkan patogen dari satu orang ke orang lain, sementara vektor yang lebih generalis mungkin "membuang" gigitan infeksiusnya pada inang non-manusia yang tidak kompeten untuk transmisi lebih lanjut.

Secara umum, preferensi inang dapat dikategorikan menjadi tiga kelompok utama:

1. **Antropofilik** (atau *anthropophagic*): Vektor memiliki preferensi kuat untuk mengisap darah manusia. Vektor dengan perilaku ini adalah yang paling berbahaya dan efisien dalam menularkan penyakit antar-manusia. *Aedes aegypti* dan *Anopheles gambiae* (vektor utama malaria di Afrika) adalah contoh klasik vektor antropofilik. Kecenderungan mereka untuk secara konsisten mencari manusia sebagai sumber darah mempercepat siklus penularan dalam populasi manusia.
2. **Zoofilik** (atau *zoophagic*): Vektor memiliki preferensi kuat untuk mengisap darah hewan selain manusia. Hewan yang menjadi target bisa sangat spesifik, misalnya **ornitofilik** (memilih burung) atau lebih umum, seperti mamalia besar (sapi, kerbau, babi). Vektor yang murni zoofilik umumnya memiliki peran kecil dalam penularan penyakit pada manusia, kecuali jika populasi inang hewannya menurun drastis sehingga memaksa mereka mencari sumber darah alternatif.
3. **Opportunistik** (atau mamofilik generalis): Vektor tidak memiliki preferensi yang kaku dan akan mengisap darah dari inang mana pun yang paling

mudah diakses atau paling melimpah di lingkungannya. Perilaku ini sering ditemukan pada banyak spesies *Culex*. Vektor oportunistik memainkan peran kunci dalam penyakit zoonosis, di mana mereka bertindak sebagai "jembatan" (*bridge vector*) yang memindahkan patogen dari reservoir hewan ke manusia.

PERHATIAN

Preferensi inang bukanlah sifat yang mutlak dan tidak dapat diubah. Perilaku ini dapat menunjukkan plastisitas atau pergeseran tergantung pada ketersediaan relatif inang. Misalnya, di sebuah desa di Indonesia di mana program pemerintah berhasil meningkatkan populasi ternak sapi, nyamuk *Anopheles* yang sebelumnya lebih sering menggigit manusia mungkin akan "tertarik" untuk lebih banyak menggigit sapi di kandang. Fenomena ini, yang disebut *zooprophyllaxis*, terkadang dapat dimanfaatkan sebagai strategi pengendalian, di mana ternak sengaja ditempatkan sebagai "umpan" untuk menjauhkan vektor dari manusia. Namun, strategi ini harus diterapkan dengan hati-hati karena juga berisiko meningkatkan populasi vektor secara keseluruhan.

Implikasi paling signifikan dari preferensi inang terlihat dalam epidemiologi penyakit zoonosis seperti Japanese Encephalitis (JE). Virus JE bersirkulasi secara alami dalam siklus penularan antara nyamuk *Culex tritaeniorhynchus* (yang bersifat zoofilik) dan hewan yang menjadi inang amplifikasi seperti burung kuntul (*ardeid birds*) dan babi. Manusia adalah inang insidental (*incidental host*). Risiko penularan pada manusia meningkat drastis di wilayah di mana ketiga komponen ini—manusia, babi/burung, dan nyamuk—hidup berdekatan, seperti di area persawahan yang juga menjadi lokasi peternakan babi di Bali atau daerah lainnya. Nyamuk *Culex* yang oportunistik, setelah mengisap darah dari babi yang terinfeksi, kemudian secara tidak sengaja menggigit manusia, sehingga menularkan virus. Tanpa pemahaman tentang preferensi inang dan ekologi interaksi antarspesies ini (Irwanto, 2021), upaya pencegahan JE tidak akan efektif. Demikian pula, pemahaman preferensi inang untuk vektor filariasis limfatik penting untuk memetakan risiko di berbagai wilayah di Indonesia (Aisyah, 2022).

G. Vector competence dan vectorial capacity

Setelah memahami aspek-aspek kualitatif dari biologi dan perilaku vektor, langkah selanjutnya adalah mengkuantifikasi potensi mereka dalam menularkan penyakit. Dua konsep kunci yang digunakan untuk tujuan ini adalah kompetensi vektor (*vector competence*) dan kapasitas vektorial (*vectorial capacity*). Meskipun sering digunakan secara bergantian oleh non-ahli, kedua istilah ini memiliki makna yang sangat berbeda dan mengukur aspek yang berbeda dari

proses transmisi. Membedakan keduanya sangat penting untuk analisis risiko dan evaluasi intervensi kesehatan masyarakat.

Kompetensi vektor adalah istilah biologis yang merujuk pada kemampuan intrinsik (genetik) dari seekor vektor untuk terinfeksi oleh patogen, memungkinkan patogen tersebut untuk berkembang biak atau bereplikasi di dalam tubuhnya (misalnya, di usus tengah), menyebar ke kelenjar ludah, dan akhirnya menularkannya ke inang rentan berikutnya saat menggigit. Ini adalah ukuran efisiensi fisiologis dan molekuler. Sebuah vektor dianggap "kompeten" untuk patogen tertentu jika ia dapat menyelesaikan seluruh siklus ini. Sebaliknya, vektor yang "tidak kompeten" mungkin dapat menelan patogen saat mengisap darah, tetapi patogen tersebut gagal berkembang biak atau mati di dalam tubuh vektor sebelum mencapai kelenjar ludah.

DEFINISI

Kompetensi Vektor (Vector Competence) adalah kemampuan intrinsik suatu artropoda untuk mendukung perkembangan agen penyakit (patogen) hingga mencapai tahap infeksi dan menularkannya ke inang vertebrata yang rentan. Ini adalah pertanyaan "bisa atau tidak?" secara biologis.

Misalnya, tidak semua spesies nyamuk dapat menularkan virus dengue. *Aedes aegypti* adalah vektor yang sangat kompeten, sedangkan kerabat dekatnya, *Aedes albopictus*, umumnya dianggap sedikit kurang kompeten. Bahkan di dalam satu spesies pun, tingkat kompetensi dapat bervariasi antar populasi geografis yang berbeda karena adanya variasi genetik. Pengukuran kompetensi vektor biasanya dilakukan melalui eksperimen di laboratorium dengan menginfeksi vektor secara artifisial dan kemudian memeriksa keberadaan patogen di berbagai organ tubuhnya dari waktu ke waktu.

Sementara kompetensi vektor adalah ukuran pada level individu dan bersifat kualitatif (ya/tidak) atau semi-kuantitatif, **kapasitas vektorial** (*vectorial capacity*, disimbolkan dengan C) adalah konsep epidemiologis dan matematis yang mengukur potensi transmisi dari seluruh populasi vektor di suatu area. Kapasitas vektorial didefinisikan sebagai jumlah rata-rata infeksi baru pada inang yang dihasilkan per hari oleh satu kasus infeksi primer di populasi inang, dengan asumsi populasi inang sepenuhnya rentan. Ini adalah ukuran laju di mana suatu populasi vektor dapat menyebarkan penyakit.

f FORMULA

Kapasitas vektorial (C) secara klasik dihitung menggunakan rumus Ross-Macdonald:

$$C = (m a^2 b p^n) / -\ln(p)$$

Di mana:

m: Kepadatan vektor relatif terhadap inang (jumlah vektor per manusia).

a: Laju gigitan pada manusia per vektor per hari (preferensi inang).

b: Kompetensi vektor (proporsi gigitan dari vektor infeksi yang berhasil menularkan patogen).

p: Probabilitas survival harian vektor (umur panjang).

n: Periode inkubasi ekstrinsik (waktu dalam hari yang dibutuhkan patogen untuk berkembang di dalam vektor hingga menjadi infeksi).

Setiap komponen dalam rumus ini merepresentasikan aspek biologi dan perilaku yang telah kita bahas. Kepadatan (m) dipengaruhi oleh habitat (Sub-bab D). Laju gigitan (a) dipengaruhi oleh perilaku menggigit dan preferensi inang (Sub-bab E dan F). Kompetensi (b) adalah properti intrinsik. Probabilitas survival (p) dan periode inkubasi (n) sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu. Perhatikan bahwa laju gigitan (a) muncul dalam bentuk kuadrat (a^2), yang menyoroti betapa pentingnya frekuensi kontak vektor-manusia dalam transmisi. Sedikit saja peningkatan dalam laju gigitan akan berdampak besar pada kapasitas vektorial.

Implikasinya sangat jelas: setiap intervensi pengendalian vektor pada dasarnya bertujuan untuk menurunkan nilai C . Penggunaan larvasida atau PSN menurunkan m . Penggunaan kelambu atau *repellent* menurunkan a . Penggunaan *fogging* atau IRS untuk membunuh nyamuk dewasa menurunkan p . Memahami parameter mana yang paling sensitif atau paling mudah dimodifikasi di konteks lokal, misalnya berdasarkan data entomologi dari Bengkulu (Triana, 2021) atau Bandung (Sutriyawan, 2023), adalah kunci untuk merancang program pengendalian yang paling efisien dan berdampak. Kapasitas vektorial menyediakan kerangka kerja kuantitatif untuk mengevaluasi dan membandingkan efektivitas berbagai strategi pengendalian (Adnyana, 2022).

H. Rangkuman

Pemahaman mendalam tentang biologi dan perilaku vektor merupakan fondasi dari strategi pengendalian yang efektif dan berkelanjutan dalam kesehatan masyarakat. Siklus hidup vektor, khususnya metamorfosis sempurna pada nyamuk dan lalat, menyajikan serangkaian "jendela peluang" untuk intervensi yang spesifik pada setiap tahap—telur, larva, pupa, dan dewasa. Mengabaikan tahap akuatik (larva dan pupa) dan hanya berfokus pada pengendalian nyamuk dewasa, seperti melalui pengasapan, terbukti tidak efektif

dalam jangka panjang karena tidak mengatasi sumber populasi vektor. Sebagaimana diilustrasikan oleh kasus di Denpasar, pendekatan terpadu yang menargetkan fase larva di "hulu" melalui pemberantasan sarang nyamuk (PSN) dan fase dewasa di "hilir" secara simultan menunjukkan keberhasilan yang jauh lebih signifikan. Lebih lanjut, efektivitas pengendalian sangat bergantung pada pemahaman ekologi dan preferensi habitat spesifik setiap spesies vektor. Perbedaan ceruk ekologi antara *Aedes* yang berkembang biak di air jernih dalam kontainer buatan manusia, *Anopheles* di genangan air alami yang terpapar matahari, dan *Culex* di air kotor kaya bahan organik, menegaskan bahwa tidak ada strategi pengendalian tunggal yang universal. Oleh karena itu, keberhasilan program pengendalian vektor tidak terletak pada satu metode, melainkan pada kemampuan untuk menganalisis biologi dan ekologi vektor secara lokal, lalu merancang intervensi yang terintegrasi, tepat sasaran, dan menyasar akar permasalahan, yaitu habitat perindukan vektor.

I. Latihan Mahasiswa

a. Essay

1. Evaluasilah sebuah program pengendalian DBD yang hanya mengandalkan pengasapan (*fogging*) periodik di suatu kota. Gunakan konsep intervensi "hulu" dan "hilir" serta data dari siklus hidup *Aedes aegypti* untuk menjelaskan mengapa program semacam ini kemungkinan besar akan gagal menekan angka kasus secara berkelanjutan dan apa modifikasi strategi yang paling fundamental untuk memperbaikinya.
2. Bandingkan dan analisis tantangan-tantangan utama dalam upaya pengendalian vektor di dua lokasi berbeda: (a) pengendalian *Aedes aegypti* di kawasan kumuh perkotaan Jakarta, dan (b) pengendalian *Anopheles maculatus* di area persawahan di Kabupaten Purworejo. Fokuskan analisis Anda pada perbedaan habitat perindukan, kualitas air, dan implikasinya terhadap pilihan metode intervensi.
3. Rumuskan sebuah kerangka pesan kunci untuk kampanye kesehatan masyarakat yang bertujuan mengubah perilaku warga dari reaktif (menunggu *fogging*) menjadi proaktif (melakukan PSN 3M Plus). Pesan tersebut harus secara sederhana namun kuat menjelaskan mengapa memberantas jentik di rumah sendiri jauh lebih efektif untuk melindungi keluarga dari DBD daripada hanya mengandalkan penyemprotan dari pemerintah.
4. Telaahlah pernyataan "Setiap tahap dalam siklus hidup vektor menawarkan 'jendela peluang' yang unik untuk intervensi". Gunakan siklus hidup *Aedes aegypti* sebagai model, jelaskan secara spesifik bentuk intervensi yang paling tepat untuk menargetkan tahap telur, larva, dan

dewasa, serta jelaskan justifikasi ilmiah di balik pemilihan waktu dan metode intervensi tersebut.

5. Argumentasikan mengapa buruknya perencanaan tata kota dan kegagalan sistem sanitasi lingkungan (misalnya, selokan tersumbat dan pengelolaan limbah yang tidak memadai) dapat dianggap sebagai faktor pendorong utama transmisi filariasis limfatik (kaki gajah) di wilayah urban. Kaitkan argumen Anda secara langsung dengan biologi dan ekologi spesifik dari vektor utamanya, *Culex quinquefasciatus*.

b. Pilihan Berganda

1. Nyamuk *Aedes aegypti*, lalat rumah, dan kupu-kupu merupakan contoh serangga yang mengalami metamorfosis sempurna atau *holometabola*. Tahapan yang membedakan tipe metamorfosis ini dari metamorfosis tidak sempurna adalah...
 - a. Tahap telur yang resisten
 - b. Tahap nimfa yang aktif mencari makan
 - c. Tahap pupa (kepompong)
 - d. Tahap dewasa yang memiliki sayap
2. Kemampuan telur *Aedes aegypti* untuk bertahan dalam kondisi kering selama berbulan-bulan sebelum menetas saat tergenang air kembali merupakan adaptasi yang disebut...
 - a. Hibernasi
 - b. Diapause
 - c. Moulting
 - d. Partenogenesis
3. Fase larva (jentik) menjadi target utama dalam program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) karena pada fase ini, vektor...
 - a. Memiliki ukuran paling besar sehingga mudah dilihat
 - b. Tidak bisa terbang, terkonsentrasi di air, dan mudah dieliminasi
 - c. Merupakan satu-satunya fase yang menularkan penyakit
 - d. Membutuhkan darah manusia untuk berkembang
4. Berdasarkan teks, intervensi yang menargetkan fase larva *Aedes aegypti* seperti gerakan 3M Plus dapat dikategorikan sebagai strategi pengendalian pada...
 - a. Hulu, karena bersifat preventif dan menyasar sumber masalah
 - b. Hilir, karena dilakukan setelah ada kasus penyakit
 - c. Reaktif, karena hanya merespons laporan warga
 - d. Kuratif, karena bertujuan mengobati individu yang sakit
5. Studi kasus di Kota Denpasar menunjukkan bahwa program pengendalian DBD menjadi jauh lebih berhasil setelah...
 - a. Mengganti bahan kimia *fogging* dengan yang lebih poten

- b. Menghentikan *fogging* dan hanya fokus pada larvasida
 - c. Mengintegrasikan kegiatan *fogging* (target dewasa) dengan Jumantik (target larva)
 - d. Melakukan *fogging* setiap hari selama musim hujan
- 6. Seorang petugas kesehatan masyarakat menemukan banyak jentik di selokan yang airnya keruh, berbau, dan penuh sampah organik di sebuah permukiman padat. Berdasarkan karakteristik habitat tersebut, spesies nyamuk yang paling mungkin berkembang biak di sana adalah...
 - a. *Anopheles maculatus*
 - b. *Aedes aegypti*
 - c. *Culex quinquefasciatus*
 - d. *Anopheles sundaicus*
- 7. Upaya pengendalian malaria di Kabupaten Purworejo yang menargetkan area persawahan dan pinggiran sungai yang terkena sinar matahari didasarkan pada pemahaman bahwa habitat tersebut merupakan tempat perindukan ideal bagi vektor...
 - a. *Aedes aegypti*
 - b. *Anopheles aconitus*
 - c. *Culex quinquefasciatus*
 - d. Kutu busuk
- 8. Perbedaan paling mendasar antara habitat perindukan *Aedes sp.* dengan *Anopheles sp.* menurut Tabel 3.1 adalah...
 - a. *Aedes* menyukai air payau, sedangkan *Anopheles* menyukai air tawar
 - b. *Aedes* berkembang biak di kontainer buatan manusia, sedangkan *Anopheles* di genangan alami
 - c. *Aedes* menyukai air keruh, sedangkan *Anopheles* menyukai air jernih
 - d. *Aedes* aktif di pedesaan, sedangkan *Anopheles* dominan di perkotaan
- 9. Seorang warga menemukan jentik nyamuk di dalam tatakan dispenser air minum di rumahnya. Jentik tersebut kemungkinan besar adalah larva dari...
 - a. *Anopheles sp.*
 - b. *Culex sp.*
 - c. *Aedes sp.*
 - d. Semua jawaban salah
- 10. Dalam siklus hidup nyamuk, fase akuatik yang bersifat non-feeding (tidak makan) namun tetap aktif bergerak jika terganggu adalah fase...
 - a. Telur
 - b. Larva instar 1
 - c. Pupa
 - d. Imago (dewasa)

c. Soal Project / Studi Kasus

1. Anda adalah seorang sanitarian yang baru ditugaskan di sebuah kecamatan yang sedang mengalami wabah Chikungunya. Data entomologi awal menunjukkan kepadatan larva *Aedes aegypti* yang sangat tinggi. Kepala Puskesmas meminta Anda merancang program intervensi cepat untuk 3 bulan ke depan dengan anggaran terbatas. Program yang ada selama ini hanya berupa *fogging* insidental jika ada laporan kasus. Berdasarkan pemahaman Anda tentang biologi dan ekologi vektor, rumuskan sebuah rencana intervensi terpadu yang memprioritaskan kegiatan paling efektif dan berkelanjutan, serta jelaskan justifikasi dari setiap komponen rencana tersebut kepada Kepala Puskesmas.
2. Sebuah perusahaan perkebunan kelapa sawit di Kalimantan berencana membuka lahan baru yang berbatasan dengan kawasan rawa air payau dan hutan sekunder. Sebagai konsultan kesehatan masyarakat, Anda diminta untuk melakukan analisis risiko penyakit tular vektor bagi para pekerja dan masyarakat sekitar. Fokuskan analisis Anda pada potensi peningkatan risiko malaria dan filariasis. Identifikasi spesies vektor potensial (*Anopheles* dan *Culex*), jelaskan bagaimana aktivitas pembukaan lahan dapat menciptakan habitat baru bagi mereka, dan berikan tiga rekomendasi kunci berbasis *source reduction* dan manajemen lingkungan yang harus diintegrasikan dalam rencana pembangunan perkebunan tersebut.

BAB 4

IDENTIFIKASI VEKTOR NYAMUK

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah menyelesaikan pembahasan pada bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menerapkan kunci identifikasi morfologi untuk membedakan genus nyamuk *Aedes*, *Anopheles*, *Culex*, dan *Mansonia* pada spesimen larva dan dewasa yang disediakan.
2. Menentukan potensi risiko penularan penyakit di suatu wilayah berdasarkan hasil identifikasi genus nyamuk dominan dan karakteristik bio-ekologinya.
3. Memilih metode surveilans entomologi (misalnya, *larval survey*, *human landing catch*, *light trap*) yang paling efektif untuk suatu genus target di lokasi studi kasus hipotetis di Indonesia.
4. Mendemonstrasikan prosedur dasar pengambilan, pengawetan, dan pelabelan spesimen nyamuk dari lapangan untuk keperluan identifikasi di laboratorium.
5. Membandingkan ciri-ciri morfologi, siklus hidup, dan habitat perkembangbiakan antara empat genus utama nyamuk vektor sebagai dasar untuk merancang intervensi pengendalian yang terintegrasi.

B. Pengantar

Seorang petugas surveilans di Puskesmas Kecamatan Kuta Alam, Banda Aceh, dihadapkan pada laporan peningkatan kasus demam akut yang tidak spesifik. Sebagian pasien menunjukkan gejala klasik Demam Berdarah Dengue (DBD) dengan trombositopenia, sementara sebagian lainnya mengeluhkan nyeri sendi hebat yang melumpuhkan, mengarah pada dugaan Chikungunya. Kedua penyakit ini, meskipun disebabkan oleh virus yang berbeda, ditularkan oleh vektor yang sama: nyamuk dari genus *Aedes*. Namun, di wilayah yang sama, tidak jauh dari pemukiman padat, terdapat area persawahan dan saluran air yang berpotensi menjadi habitat perkembangbiakan nyamuk *Anopheles*, vektor malaria, atau *Culex*, vektor Filariasis dan Japanese Encephalitis. Dalam skenario yang sangat umum di berbagai wilayah Indonesia ini, pertanyaan fundamental yang harus dijawab oleh seorang ahli kesehatan masyarakat bukanlah sekadar "bagaimana mengobati pasien?", melainkan "makhluk apa yang menyebarkan penyakit ini?". Kesalahan dalam mengidentifikasi vektor akan berujung pada intervensi yang sia-sia. Melakukan fogging untuk membunuh *Aedes* dewasa tidak akan berdampak pada populasi larva *Anopheles* di sawah, dan membersihkan talang

air tidak akan mengurangi populasi *Mansonia* yang larvanya menempel pada tanaman air. Kemampuan identifikasi vektor yang akurat, oleh karena itu, bukan sekadar keterampilan teknis, melainkan fondasi dari seluruh strategi pengendalian penyakit berbasis vektor yang efektif, efisien, dan tepat sasaran.

Setiap genus nyamuk memiliki "kepribadian" biologis yang unik, yang menentukan di mana ia hidup, kapan ia menggigit, dan penyakit apa yang ia tularkan. Memahami perbedaan ini adalah kunci. Sebagai contoh, identifikasi *Anopheles balabacensis* di sebuah desa di Kalimantan Utara memiliki implikasi yang sangat berbeda dibandingkan penemuan *Aedes aegypti*. *An. balabacensis* adalah vektor malaria zoonotik (*Plasmodium knowlesi*) yang aktif di perbatasan hutan pada senja hari, sehingga intervensinya mungkin berfokus pada penggunaan kelambu berinsektisida dan edukasi bagi para pekerja hutan. Sebaliknya, penemuan *Ae. aegypti* di dalam rumah di Kota Surabaya mengarahkan pada program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) 3M Plus yang berfokus pada wadah air bersih di lingkungan domestik. Demikian pula, membedakan antara *Culex quinquefasciatus* yang berkembang biak di selokan tercemar di Jakarta dan menjadi vektor Filariasis, dengan *Mansonia uniformis* yang larvanya "bernapas" dengan menancapkan sifonnya pada akar tanaman eceng gondok di Danau Tempe, Sulawesi Selatan, menuntut strategi pengendalian yang sama sekali berbeda. Kegagalan membedakan mereka adalah resep untuk kegagalan program kesehatan masyarakat.

Bab ini dirancang untuk membekali Anda dengan kompetensi fundamental seorang entomolog kesehatan: kemampuan untuk mengidentifikasi musuh. Kita akan membedah secara sistematis karakteristik morfologi yang menjadi pembeda utama antara empat genus nyamuk yang paling signifikan dari perspektif kesehatan masyarakat di Indonesia, yaitu *Aedes*, *Anopheles*, *Culex*, dan *Mansonia*. Untuk setiap genus, kita akan mempelajari ciri khas pada setiap stadium hidup—dari telur, larva, pupa, hingga dewasa—serta mengaitkannya dengan habitat ekologis dan perilaku yang relevan. Pembahasan akan diperkaya dengan gambar detail, kunci identifikasi praktis, dan studi kasus dari berbagai daerah di Indonesia untuk mengkontekstualisasikan teori. Bab ini akan diakhiri dengan analisis perbandingan komparatif untuk mensintesis pengetahuan dan mempertajam kemampuan Anda dalam melakukan diagnosis entomologis cepat di lapangan, sebuah keahlian esensial bagi setiap praktisi kesehatan masyarakat.

C. Karakteristik Genus *Aedes*

Nyamuk dari genus *Aedes*, khususnya spesies *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus*, merupakan vektor utama bagi sejumlah penyakit arbovirus yang menjadi masalah kesehatan masyarakat global, termasuk Demam Berdarah Dengue (DBD), Chikungunya, Zika, dan Demam Kuning. Kemampuan untuk mengidentifikasi genus ini dengan cepat dan akurat di lapangan adalah

kompetensi dasar yang krusial bagi setiap sanitarian dan entomolog kesehatan. Karakteristik paling mencolok dari nyamuk *Aedes* dewasa adalah corak tubuhnya yang khas, yaitu belang hitam dengan sisik-sisik (scales) berwarna putih keperakan. Pola ini sering dideskripsikan sebagai "belang harimau", yang membuatnya mudah dibedakan dari genus lain yang cenderung berwarna coklat atau pucat. Pada *Ae. aegypti*, terdapat pola khas berbentuk lira (alat musik kuno) atau dua garis lengkung di bagian tengah dengan dua garis lurus di tepinya pada bagian dorsal toraks (mesonotum). Sementara itu, *Ae. albopictus* memiliki satu garis putih tebal di tengah-tengah toraksnya.

Siklus hidup dan pemilihan habitat *Aedes* sangat erat kaitannya dengan lingkungan manusia (domestik dan peridomestik). Hal ini menjadikan pengendaliannya sangat bergantung pada partisipasi masyarakat (Sulidah, 2021). Berbeda dengan nyamuk lain, *Aedes* meletakkan telurnya satu per satu pada dinding bagian dalam kontainer air bersih yang tergenang, tepat di atas permukaan air. Telur ini memiliki kemampuan luar biasa untuk bertahan dalam kondisi kering (desikasi) selama berbulan-bulan, dan akan menetas ketika terendam air kembali. Strategi ini menjelaskan mengapa wabah DBD sering kali meledak setelah musim hujan, di mana banyak wadah-wadah kosong yang sebelumnya menjadi tempat telur diletakkan, kini terisi air (Prameswarie, 2023). Larva *Aedes*, yang sering disebut jentik, memiliki sifon (corong pernapasan) yang pendek dan tebal. Saat beristirahat, larva ini akan menggantung pada posisi hampir vertikal (sudut sekitar 45 derajat) dari permukaan air.

CONTOH

Seorang petugas surveilans di Kota Bandung menemukan jentik di dalam bak mandi sebuah rumah di area endemis DBD. Saat diamati, jentik tersebut menggantung hampir tegak lurus di bawah permukaan air dan bergerak sangat lincah saat terusik. Di pekarangan rumah yang sama, ditemukan juga ban bekas yang berisi air hujan dan positif terdapat jentik dengan ciri yang sama. Berdasarkan karakteristik habitat (air bersih di kontainer buatan manusia) dan morfologi larva, petugas dapat langsung menyimpulkan bahwa ini adalah larva *Aedes*, kemungkinan besar *Ae. aegypti*, dan segera merekomendasikan tindakan Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN). Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa kepadatan larva *Aedes* di area endemis sangat dipengaruhi oleh keberadaan habitat buatan manusia (Sutriyawan, 2023).

Perilaku nyamuk dewasa juga sangat khas. *Aedes* merupakan nyamuk yang aktif pada siang hari (diurnal), dengan puncak aktivitas menggigit pada pagi hari (sekitar pukul 09.00-10.00) dan sore hari menjelang petang (sekitar pukul 16.00-17.00). Sifatnya yang sangat antropofilik (menyukai manusia) dan sering

beristirahat di dalam rumah (endofilik) di tempat-tempat gelap seperti di bawah meja atau di antara pakaian yang tergantung, membuat manusia menjadi target utama dan memfasilitasi penularan penyakit di lingkungan domestik. Upaya pengendalian seperti teknologi *Wolbachia* di Yogyakarta menargetkan langsung populasi *Ae. aegypti* di lingkungan padat penduduk ini untuk memutus rantai penularan DBD (Buchori, 2022).

Pengenalan morfologi toraks merupakan kunci utama dalam identifikasi *Aedes* dewasa. Berikut adalah ilustrasi yang menunjukkan pola khas pada toraks *Aedes aegypti*.



Gambar 4.1 Pola Lira pada Mesonotum Nyamuk *Aedes aegypti*

Gambar di atas menunjukkan ciri pembeda yang paling dapat diandalkan untuk mengidentifikasi spesies *Ae. aegypti*. Kemampuan mengenali pola ini memungkinkan identifikasi cepat tanpa memerlukan mikroskop dengan perbesaran tinggi, yang sangat berguna untuk surveilans di lapangan.

D. Karakteristik Genus *Anopheles*

Genus *Anopheles* memiliki signifikansi kesehatan masyarakat yang luar biasa karena perannya sebagai satu-satunya vektor bagi parasit malaria pada manusia (*Plasmodium sp.*). Di Indonesia, di mana malaria masih menjadi endemi di banyak wilayah, terutama di luar Jawa-Bali, kemampuan mengidentifikasi *Anopheles* adalah prasyarat mutlak untuk program eliminasi malaria (Hasyim, 2024). Karakteristik morfologi, ekologi, dan perilaku genus ini sangat berbeda dari *Aedes*, sehingga menuntut strategi pengendalian yang juga berbeda secara fundamental. Secara morfologis, salah satu ciri pembeda utama pada nyamuk *Anopheles* dewasa adalah posisi palpus maksilaris (maxillary palps) yang panjangnya sama dengan probosis (alat tusuk), baik pada jantan maupun betina. Ciri ini dapat diamati dengan mata telanjang atau lup. Selain itu, banyak spesies

Anopheles memiliki sayap dengan pola bintik-bintik gelap dan terang (dappled wings) akibat adanya sisik berwarna pada vena sayap.

Ciri yang paling ikonik dari *Anopheles* dewasa adalah postur istirahatnya. Ketika hinggap di permukaan, tubuh nyamuk *Anopheles* akan membentuk sudut yang tajam (sekitar 45-90 derajat) dengan permukaan tersebut, dengan posisi kepala menukik ke bawah dan abdomen terangkat ke atas. Postur ini sangat kontras dengan genus lain seperti *Aedes* atau *Culex* yang tubuhnya cenderung paralel dengan permukaan tempatnya hinggap. Perbedaan postur ini merupakan salah satu kunci identifikasi cepat di lapangan. Identifikasi yang tepat sangat krusial, misalnya dalam penentuan wilayah reseptif malaria di Perbukitan Menoreh, di mana keberadaan vektor *Anopheles* menjadi faktor penentu risiko penularan kasus impor (Widartono, 2022).

DEFINISI

Palpus Maksilaris adalah sepasang organ sensorik yang terletak di dekat probosis pada kepala nyamuk. Pada genus *Anopheles*, panjang palpus ini setara dengan panjang probosis, sedangkan pada genus lain (misalnya *Culex* dan *Aedes*), palpus pada betina jauh lebih pendek dari probosis.

Siklus hidup *Anopheles* juga menunjukkan karakteristik unik. Telur diletakkan satu per satu di atas permukaan air dan memiliki sepasang "pelampung" (floats) di kedua sisinya yang membantunya tetap mengapung. Habitat perkembangbiakan larva (*breeding site*) sangat bervariasi tergantung spesies, namun umumnya adalah genangan air alami yang relatif bersih dan terpapar sinar matahari, seperti di tepi sungai yang arusnya lambat, persawahan, rawa-rawa, laguna, dan genangan air hujan di bekas jejak kaki hewan (Utami, 2022). Larva *Anopheles* tidak memiliki sifon pernapasan seperti genus lain. Sebaliknya, ia bernapas melalui lubang spirakel yang terletak di segmen abdomen kedelapan. Akibatnya, saat beristirahat, larva *Anopheles* akan memosisikan dirinya sejajar (paralel) dengan permukaan air, menyerupai ranting kecil yang mengapung. Perilaku ini membuatnya sulit terlihat, namun menjadi ciri identifikasi yang sangat jelas. Upaya pengendalian dapat menargetkan larva ini, misalnya dengan menggunakan biolarvasida nabati (Suari, 2021). Perilaku nyamuk dewasa sebagian besar bersifat nokturnal (aktif pada malam hari) atau krepuskular (aktif saat senja dan fajar), yang menjelaskan mengapa penggunaan kelambu berinsektisida menjadi salah satu intervensi paling efektif untuk mencegah penularan malaria.

E. Karakteristik Genus *Culex*

Genus *Culex* dikenal luas sebagai nyamuk "rumahan" atau "nyamuk got" yang sering mengganggu pada malam hari. Dari perspektif kesehatan masyarakat, genus ini merupakan vektor penting untuk beberapa penyakit serius, terutama

Filariasis Limfatik (Penyakit Kaki Gajah) yang disebabkan oleh cacing *Wuchereria bancrofti*, dan Japanese Encephalitis (JE), sebuah infeksi virus yang dapat menyebabkan radang otak parah. Spesies yang paling signifikan di Indonesia adalah *Culex quinquefasciatus*. Secara umum, nyamuk *Culex* dewasa memiliki penampilan yang kurang mencolok dibandingkan *Aedes* atau *Anopheles*. Tubuhnya cenderung berwarna coklat atau kusam tanpa pola belang atau bintik yang kontras. Salah satu ciri morfologi utamanya adalah ujung abdomen yang tumpul dan tidak meruncing, serta palpus pada betina yang sangat pendek dibandingkan probosisnya. Saat hinggap, tubuh *Culex* akan berada dalam posisi paralel dengan permukaan, namun sedikit membungkuk, tidak membentuk sudut tajam seperti *Anopheles*.

Habitat perkembangbiakan larva *Culex* adalah ciri ekologisnya yang paling khas dan relevan untuk pengendalian. Berbeda dengan *Aedes* yang menyukai air bersih atau *Anopheles* yang preferensinya bervariasi pada air alami, *Culex* terkenal mampu berkembang biak di genangan air yang sangat kotor dan kaya bahan organik. Habitat idealnya meliputi selokan yang macet, septic tank yang meluap, kubangan air limbah, parit, serta wadah-wadah berisi air kotor di sekitar pemukiman. Kemampuan adaptasi pada air tercemar ini membuat *Culex* sangat subur di kawasan perkotaan padat dan kumuh dengan sanitasi yang buruk. Identifikasi larva di tempat penampungan air di lingkungan seperti rumah sakit menjadi penting untuk mencegah potensi penularan penyakit nosokomial yang ditularkan vektor (Muhammad, 2022).

PERHATIAN

Meskipun *Culex* sering disebut "nyamuk got", jangan berasumsi bahwa mereka hanya berkembang biak di selokan. Setiap genangan air yang tenang dan kaya bahan organik, termasuk pot bunga yang diberi pupuk organik cair secara berlebihan atau air di dalam talang yang tersumbat daun-daun busuk, dapat menjadi habitat potensial bagi larva *Culex*.

Siklus hidupnya dimulai saat nyamuk betina meletakkan telur secara berkelompok dalam satu rakitan (egg raft) yang terdiri dari ratusan telur dan mengapung di atas permukaan air. Rakitan telur ini merupakan ciri khas genus *Culex*. Larva *Culex* memiliki sifon pernapasan yang panjang dan ramping. Saat beristirahat untuk mengambil napas, larva ini akan menggantung dari permukaan air dengan sudut sekitar 45 derajat, posisi yang mirip dengan larva *Aedes*, namun dapat dibedakan melalui bentuk sifonnya yang lebih panjang dan ramping. Pengendalian larva sering kali menjadi fokus, dan berbagai penelitian telah menguji efektivitas ekstrak tumbuhan sebagai biolarvasida, seperti ekstrak daun pandan wangi (Putri, 2022). Perilaku nyamuk dewasa umumnya nokturnal, aktif mencari mangsa pada malam hari. Meskipun banyak spesies *Culex* bersifat

ornitofilik (lebih suka darah burung), *Culex quinquefasciatus* juga sangat oportunistik dan akan aktif menggigit manusia, terutama saat populasi burung sedikit atau saat nyamuk berada di dalam rumah. Sifatnya yang endofagik (menggigit di dalam ruangan) dan nokturnal membuat penggunaan kelambu dan kasa pada ventilasi menjadi relevan untuk perlindungan individu.

F. Karakteristik Genus *Mansonia*

Genus *Mansonia* merupakan kelompok nyamuk yang memiliki biologi sangat unik dan menarik, yang secara langsung menentukan habitat spesifik serta metode pengendaliannya. Meskipun tidak sepopuler *Aedes* atau *Anopheles*, *Mansonia* adalah vektor penting untuk Filariasis Brugia, yang disebabkan oleh cacing *Brugia malayi* dan *Brugia timori*, terutama di wilayah-wilayah pedesaan dan rawa di Indonesia. Secara morfologi, nyamuk dewasa *Mansonia* mudah dikenali dari penampilannya yang berbintik-bintik. Sisik pada sayapnya besar dan asimetris, dengan campuran warna gelap dan pucat yang memberikan kesan "garam dan merica" (*salt-and-pepper*). Kaki dan probosisnya juga memiliki belang-belang pucat, namun tidak sekontras pola hitam-putih pada *Aedes*. Ukuran tubuhnya cenderung sedang hingga besar. Nyamuk dewasa aktif pada malam hari dan merupakan penggigit yang agresif, sering kali menyerang manusia dan hewan di luar rumah (eksofagik).

Keunikan utama genus *Mansonia* terletak pada adaptasi stadium larva dan pupanya. Berbeda dengan semua genus nyamuk lain yang larvanya harus secara periodik naik ke permukaan air untuk bernapas melalui sifon atau spirakel, larva *Mansonia* tidak melakukannya. Larva *Mansonia* memiliki sifon yang termodifikasi secara khusus menjadi alat penusuk bergerigi yang kuat. Dengan sifon ini, larva akan menancapkan dirinya pada akar atau batang tanaman air tertentu, seperti eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), kangkung air (*Ipomoea aquatica*), atau pistia (*Pistia stratiotes*). Mereka memperoleh oksigen langsung dari jaringan aerenkim (jaringan berisi udara) tanaman tersebut. Pupa *Mansonia* juga melakukan hal yang sama, menggunakan sepasang "terompet" pernapasan yang termodifikasi untuk menusuk tanaman air. Ketergantungan total pada tanaman air ini membuat keberadaan *Mansonia* terbatas pada habitat perairan yang ditumbuhi vegetasi akuatik yang sesuai, seperti rawa, danau, kolam, dan saluran irigasi yang pertumbuhannya lambat.

CONTOH

Di kawasan Danau Tempe, Sulawesi Selatan, atau di area rawa gambut di Kalimantan Tengah, populasi eceng gondok yang masif sering kali berkorelasi dengan tingginya populasi nyamuk *Mansonia*. Program pengendalian filariasis di wilayah seperti ini tidak akan efektif jika hanya mengandalkan fogging untuk membunuh nyamuk dewasa atau larvasiding konvensional di permukaan air. Intervensi yang paling tepat sasaran adalah

pengendalian sumber (*source reduction*) dengan cara membersihkan atau mengurangi populasi tanaman air inang tersebut. Tanpa tanaman air, larva dan pupa *Mansonia* tidak dapat bertahan hidup.

Implikasi dari biologi unik ini sangat besar bagi surveilans dan pengendalian. Metode survei larva konvensional dengan cidukan (dipper) di permukaan air akan memberikan hasil nol palsu (*false negative*) untuk *Mansonia*. Untuk menemukan larvanya, petugas harus mencabut tanaman air target dan mencucinya dengan kuat di dalam nampan berisi air untuk melepaskan larva yang menempel. Telur *Mansonia* juga diletakkan dalam kelompok berbentuk bintang atau roset pada permukaan bawah daun tanaman air. Karena siklus hidupnya yang tersembunyi dan terikat pada vegetasi, pengendalian *Mansonia* sering kali lebih sulit dan memerlukan pendekatan manajemen lingkungan yang terintegrasi, yaitu pengendalian gulma air, selain metode konvensional lainnya. Pengenalan genus dan pemahaman bio-ekologinya menjadi kunci untuk merancang program yang efektif, sebuah prinsip yang ditekankan dalam panduan identifikasi taksonomi nyamuk di Indonesia (Nugroho, 2021).

G. Perbandingan Morfologi dan Habitat Nyamuk

Setelah membahas karakteristik masing-masing genus secara terpisah, pemahaman yang komprehensif dapat dicapai dengan membandingkan secara langsung ciri-ciri kunci yang membedakan keempat genus nyamuk utama ini. Kemampuan untuk melakukan diferensiasi cepat berdasarkan beberapa karakteristik morfologi dan ekologi adalah keterampilan praktis yang sangat berharga di lapangan. Perbedaan ini tidak hanya penting untuk identifikasi taksonomis, tetapi juga memiliki implikasi langsung terhadap strategi surveilans dan pengendalian yang akan dipilih. Sebagai contoh, menemukan larva yang menggantung vertikal di bak mandi (indikasi *Aedes*) menuntut tindakan PSN 3M Plus, sementara menemukan larva yang mengapung paralel di sawah (indikasi *Anopheles*) mengarahkan pada pertimbangan larvasiding biologis atau manajemen air irigasi.

Tabel berikut menyajikan perbandingan ringkas antara genus *Aedes*, *Anopheles*, *Culex*, dan *Mansonia* pada berbagai stadium hidup dan preferensi habitatnya. Informasi ini merupakan sintesis dari pembahasan sebelumnya dan berfungsi sebagai panduan referensi cepat.

Tabel 4.1 Perbandingan Karakteristik Kunci Empat Genus Nyamuk Vektor Utama

Karakteristik	Genus <i>Aedes</i>	Genus <i>Anopheles</i>	Genus <i>Culex</i>	Genus <i>Mansonia</i>
Telur	Diletakkan satu per satu di dinding kontainer	Diletakkan satu per satu di permukaan air, memiliki pelampung	Diletakkan berkelompok membentuk rakitan (raft)	Diletakkan berkelompok di bawah daun tanaman air
Habitat Larva	Air bersih di kontainer buatan (bak mandi, ban bekas)	Air alami cenderung bersih (sawah, tepi sungai, rawa)	Air kotor dan kaya bahan organik (selokan, septic tank)	Perairan dengan tanaman air (danau, rawa eceng gondok)
Posisi Larva	Menggantung, sudut $\sim 45^\circ$, sifon pendek & tebal	Sejajar/paralel dengan permukaan air, tanpa sifon	Menggantung, sudut $\sim 45^\circ$, sifon panjang & ramping	Menempel pada akar/batang tanaman air, sifon termodifikasi
Palpus Dewasa (♀)	Jauh lebih pendek dari probosis	Sama panjang dengan probosis	Jauh lebih pendek dari probosis	Jauh lebih pendek dari probosis
Postur Istirahat	Paralel dengan permukaan	Membentuk sudut tajam ($\sim 45^\circ$), abdomen ke atas	Paralel dengan permukaan, agak membungkuk	Paralel dengan permukaan
Corak Tubuh	Hitam dengan belang putih/perak (pola lira/garis)	Seringkali sayap berbintik, tubuh pucat/coklat	Coklat kusam, abdomen ujungnya tumpul	Berbintik-bintik, sisik sayap besar & asimetris
Penyakit Utama	DBD, Chikungunya, Zika	Malaria	Filariasis Limfatik, Japanese Encephalitis	Filariasis Brugia

Tabel di atas secara jelas menyoroti bahwa setiap genus memiliki "sidik jari" biologis yang unik. Dengan memperhatikan kombinasi ciri pada setiap stadium,

seorang entomolog dapat membuat identifikasi genus dengan tingkat kepercayaan yang tinggi. Misalnya, jika ditemukan larva yang menempel pada akar eceng gondok di sebuah rawa di Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan, maka dapat dipastikan itu adalah larva *Mansonia*, dan risiko utama di area tersebut adalah Filariasis Brugia, bukan DBD. Sebaliknya, survei di permukiman padat di Kota Kendari yang menemukan larva di banyak tempat penampungan air bersih mengarah kuat pada *Aedes* dan risiko DBD (Muhammad, 2022). Pemahaman komparatif ini adalah fondasi untuk menerapkan prinsip Integrated Vector Management (IVM) yang akan dibahas lebih lanjut pada Bab 14, di mana intervensi dirancang secara spesifik berdasarkan biologi vektor target. Kunci identifikasi fotografis modern juga sangat membantu dalam membedakan genus-genus ini di Indonesia (Nugroho, 2021).

H. Rangkuman

Identifikasi akurat genus nyamuk merupakan fondasi dalam program pengendalian vektor penyakit, di mana setiap genus memiliki karakteristik morfologi, ekologi, dan perilaku yang unik sehingga menuntut strategi intervensi yang berbeda. Genus *Aedes*, yang dicirikan oleh corak belang hitam-putih dan pola spesifik seperti lira pada *Aedes aegypti*, merupakan vektor utama arbovirus seperti Dengue dan Zika. Siklus hidupnya yang sangat terasosiasi dengan lingkungan domestik—bertelur di dinding kontainer air bersih dan memiliki telur tahan kering—menjadikan Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) berbasis masyarakat sebagai kunci pengendalian. Perilakunya yang aktif di siang hari (diurnal) dan menyukai darah manusia (antropofilik) memfasilitasi penularan di dalam dan sekitar rumah. Sebaliknya, genus *Anopheles*, satu-satunya vektor malaria, memiliki ciri khas berupa palpus maksilaris yang sama panjang dengan probosis dan postur istirahat menungging (membentuk sudut 45-90 derajat). Larvanya berkembang biak di habitat alami seperti persawahan dan rawa, serta beristirahat paralel dengan permukaan air. Perilaku dewasanya yang aktif di malam hari (nokturnal) menjadikan kelambu berinsektisida sebagai metode proteksi yang sangat efektif. Sementara itu, genus *Culex* atau "nyamuk got", yang sering menjadi vektor Japanese Encephalitis dan Filariasis, umumnya berkembang biak di air yang kaya bahan organik dan lebih bersifat oportunistik dalam mencari mangsa. Pemahaman mendalam terhadap perbedaan-perbedaan fundamental ini memungkinkan petugas kesehatan masyarakat untuk melakukan surveilans yang tepat sasaran, memilih metode pengendalian yang paling efisien, dan memprediksi risiko penularan penyakit di suatu wilayah.

I. Latihan Mahasiswa

a. Essay

1. Bandingkan dan pertentangkan strategi siklus hidup antara genus *Aedes* dan *Anopheles*, terutama terkait pemilihan lokasi bertelur, ketahanan telur,

dan posisi larva. Analisislah bagaimana perbedaan fundamental ini secara langsung menentukan prioritas dan metode pengendalian yang paling efektif untuk masing-masing vektor di lapangan.

2. Seorang petugas kesehatan menemukan populasi nyamuk dewasa yang aktif menggigit pada malam hari di dalam rumah warga di daerah pedesaan dekat persawahan. Secara morfologis, nyamuk tersebut tidak memiliki corak belang hitam-putih. Analisislah kemungkinan genus nyamuk tersebut dan argumentasikan langkah-langkah identifikasi lanjutan serta rekomendasi pengendalian awal yang dapat Anda berikan kepada masyarakat.

3. Evaluasi mengapa identifikasi morfologi toraks pada *Aedes aegypti* (pola lira) dan *Aedes albopictus* (garis putih tunggal) dianggap sebagai kompetensi yang lebih krusial untuk program pengendalian DBD di perkotaan, dibandingkan dengan kemampuan membedakan spesies *Anopheles* di wilayah yang sama.

4. Rumuskan sebuah argumentasi untuk meyakinkan seorang kepala desa di wilayah endemis malaria yang menolak program penggunaan kelambu berinsektisida karena dianggap tidak efektif melawan "nyamuk kebun" yang juga mengganggu di sore hari. Gunakan pengetahuan tentang perilaku dan signifikansi medis dari genus *Anopheles* versus nyamuk pengganggu lainnya.

5. Telaah implikasi dari karakteristik telur *Aedes* yang mampu bertahan dalam kondisi kering (desikasi) selama berbulan-bulan terhadap keberlanjutan program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN). Mengapa temuan telur atau jentik setelah periode kering yang panjang bukanlah tanda kegagalan program, melainkan justifikasi untuk intensifikasi?

b. Pilihan Berganda

1. Karakteristik morfologi paling mencolok yang secara umum membedakan nyamuk genus *Aedes* dari genus lainnya adalah...

- a. Ukuran tubuh yang lebih besar
- b. Corak tubuh belang hitam dengan sisik putih keperakan
- c. Sayap dengan pola bintik-bintik gelap
- d. Posisi istirahat yang menungging

2. Seorang sanitarian menemukan larva nyamuk yang menggantung dengan posisi hampir vertikal (sudut 45 derajat) di bawah permukaan air dalam sebuah bak mandi. Larva ini memiliki sifon pernapasan yang pendek dan tebal. Ini adalah ciri khas dari larva genus...

- a. *Anopheles*
- b. *Culex*
- c. *Aedes*
- d. *Mansonia*

3. Pola spesifik berbentuk lira (dua garis lengkung di tengah dan dua garis lurus di tepi) pada bagian dorsal toraks adalah ciri khas untuk identifikasi spesies...
 - a. *Aedes albopictus*
 - b. *Anopheles sundaicus*
 - c. *Culex quinquefasciatus*
 - d. *Aedes aegypti*
4. Salah satu ciri utama untuk mengidentifikasi nyamuk *Anopheles* dewasa secara cepat di lapangan adalah postur istirahatnya yang...
 - a. Paralel dengan permukaan tempat hinggap
 - b. Membentuk sudut tajam dengan abdomen terangkat ke atas
 - c. Menggantung terbalik di bawah daun
 - d. Selalu merapatkan sayapnya di atas tubuh
5. Perbedaan kunci pada bagian kepala antara nyamuk *Anopheles* betina dan *Aedes* betina adalah...
 - a. Ukuran mata majemuknya
 - b. Panjang antena yang melebihi probosis
 - c. Panjang palpus maksilaris yang sama dengan probosis pada *Anopheles*
 - d. Warna probosis yang lebih gelap pada *Aedes*
6. Kemampuan telur *Aedes* untuk bertahan dalam kondisi kering selama berbulan-bulan (desikasi) menjelaskan fenomena...
 - a. Mengapa nyamuk *Aedes* hanya ada di daerah tropis
 - b. Ledakan wabah DBD yang sering terjadi setelah awal musim hujan
 - c. Nyamuk *Aedes* lebih suka bertelur di air kotor
 - d. Kegagalan metode pengasapan (fogging) secara total
7. Puncak aktivitas menggigit nyamuk *Aedes aegypti* terjadi pada waktu...
 - a. Sepanjang malam hingga dini hari
 - b. Hanya saat matahari terbenam (senja)
 - c. Pagi hari dan sore hari
 - d. Tengah hari saat cuaca paling panas
8. Jika Anda menemukan larva nyamuk yang posisinya selalu sejajar (paralel) dengan permukaan air di sebuah genangan bekas jejak kaki sapi yang terpapar matahari, kemungkinan besar itu adalah larva dari genus...
 - a. *Aedes*
 - b. *Toxorhynchites*
 - c. *Anopheles*
 - d. *Culex*
9. Habitat perindukan (*breeding site*) yang paling umum bagi larva *Anopheles*, vektor malaria, adalah...

- a. Bak mandi dan tempayan di dalam rumah
 - b. Got dan selokan dengan air yang tercemar berat
 - c. Genangan air alami yang relatif bersih dan terpapar matahari
 - d. Kaleng bekas dan ban bekas di sekitar rumah
10. Istilah "antropofilik" pada nyamuk *Aedes* berarti nyamuk tersebut memiliki preferensi untuk...
- a. Beristirahat di dalam rumah
 - b. Menggigit manusia
 - c. Aktif pada siang hari
 - d. Berkembang biak di wadah buatan manusia

c. Soal Project / Studi Kasus

1. Anda adalah kepala tim surveilans vektor di sebuah kabupaten yang melaporkan peningkatan kasus Demam Berdarah Dengue (DBD) secara signifikan setelah beberapa tahun terkendali. Program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) dengan Juru Pemantau Jentik (Jumantik) telah berjalan, namun Angka Bebas Jentik (ABJ) di banyak kelurahan endemis tetap di bawah target 95%. Warga merasa fogging adalah satu-satunya solusi. Berdasarkan pengetahuan tentang biologi dan perilaku *Aedes aegypti*, analisislah setidaknya tiga kemungkinan penyebab utama kegagalan pengendalian ini meskipun program PSN sudah ada. Rumuskan kerangka strategi surveilans dan intervensi yang lebih komprehensif untuk mengatasi masalah tersebut, yang melampaui sekadar anjuran 3M Plus dan permintaan fogging.
2. Sebuah desa transmigrasi baru dibuka di dekat kawasan hutan dan rawa di Kalimantan, yang secara historis merupakan daerah endemis malaria. Warga baru yang datang dari Jawa melaporkan banyak sekali gigitan nyamuk, terutama saat magrib dan malam hari. Belum ada laporan kasus malaria lokal, namun ada beberapa kasus impor dari pekerja tambang yang singgah. Sebagai petugas Puskesmas, Anda ditugaskan untuk melakukan penilaian risiko cepat (*rapid risk assessment*). Rancanglah sebuah rencana survei entomologi awal yang efisien. Jelaskan metode apa yang akan Anda gunakan untuk menangkap nyamuk dewasa dan mencari jentik, ciri-ciri identifikasi kunci apa yang akan Anda prioritaskan di lapangan, dan bagaimana hasil temuan (misalnya, identifikasi *Anopheles sp.*) akan Anda terjemahkan menjadi rekomendasi program prioritas untuk pemerintah desa dan masyarakat.

BAB 5

IDENTIFIKASI VEKTOR NON-NYAMUK

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah menyelesaikan pembahasan pada bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menentukan metode pengendalian vektor mekanik (lalat dan kecoa) yang paling sesuai berdasarkan hasil identifikasi spesies dan kondisi sanitasi lingkungan pada studi kasus area pemukiman padat.
2. Menggunakan kunci identifikasi dikotomis untuk membedakan antara pinjal, kutu, dan tungau yang ditemukan pada sampel hipotetis, serta mengaitkannya dengan potensi penyakit yang ditimbulkan.
3. Menganalisis potensi risiko penularan penyakit zoonosis dari caplak ke manusia dengan memetakan siklus hidup caplak pada studi kasus peternakan sapi di Boyolali.
4. Memilih strategi pengendalian tikus yang terintegrasi (Integrated Rodent Management) paling efektif untuk diterapkan pada kasus wabah leptospirosis di sebuah kelurahan pasca-banjir.
5. Mendemonstrasikan prosedur identifikasi morfologis dasar pada berbagai vektor non-nyamuk menggunakan alat bantu visual dan spesimen awetan untuk mendukung kegiatan surveilans entomologi.

B. Pengantar

Ketika diskursus kesehatan masyarakat membahas tentang pengendalian vektor, nyamuk sering kali menjadi primadona dan menyita sebagian besar perhatian, sumber daya, serta program intervensi. Hal ini dapat dipahami mengingat perannya sebagai penular penyakit mematikan seperti Demam Berdarah Dengue (DBD), malaria, dan filariasis yang menjadi beban kesehatan nasional. Namun, memfokuskan pandangan hanya pada nyamuk dapat menciptakan titik buta strategis yang berbahaya. Di lingkungan sekitar kita—di dalam rumah, di pasar, di tempat pembuangan sampah, bahkan di peternakan—terdapat sekelompok organisme lain yang secara senyap namun efektif berperan sebagai vektor dan reservoir penyakit. Bab ini akan mengalihkan lensa pengamatan kita dari nyamuk ke kelompok vektor non-nyamuk yang keberadaannya sering kali lebih dekat dengan aktivitas manusia sehari-hari, menjadikannya ancaman kesehatan yang tidak kalah signifikan.

Pentingnya memahami vektor non-nyamuk terletak pada mekanisme penularan penyakit yang beragam dan sering kali terkait langsung dengan kondisi sanitasi lingkungan serta perilaku manusia. Konsep utama yang perlu

dipahami adalah perbedaan antara vektor mekanik dan vektor biologis. Sebagai ilustrasi, mari kita terapkan konsep ini pada konteks Indonesia. **(Konsep)** Vektor mekanik adalah organisme yang memindahkan patogen secara pasif, di mana patogen menempel pada bagian tubuh vektor tanpa mengalami perkembangan atau multiplikasi. **(Contoh)** Bayangkan seekor lalat rumah (*Musca domestica*) yang baru saja hinggap di tumpukan sampah organik di sebuah Tempat Pembuangan Sementara (TPS) di kawasan padat penduduk di Surabaya. Bakteri *Salmonella typhi* dari sampah tersebut menempel pada kaki dan mulutnya. Beberapa menit kemudian, lalat yang sama terbang dan hinggap di atas hidangan sate yang dijual di warung pinggir jalan. **(Implikasi)** Patogen tersebut berpindah ke makanan, dan konsumen yang menyantapnya berisiko tinggi menderita demam tifoid. Di sisi lain, terdapat pula peran hewan sebagai reservoir penyakit zoonosis. **(Konsep)** Reservoir adalah organisme tempat patogen dapat hidup dan bereplikasi secara alami. **(Contoh)** Tikus got (*Rattus norvegicus*) yang banyak ditemukan di sistem drainase kota-kota besar seperti Jakarta, merupakan reservoir utama bagi bakteri *Leptospira interrogans*. Saat banjir melanda, urine tikus yang mengandung bakteri ini akan mencemari genangan air. **(Implikasi)** Warga yang memiliki luka kecil di kaki dan harus menerobos banjir tersebut sangat rentan terinfeksi, menyebabkan wabah leptospirosis dengan gejala berat bahkan kematian.

Kedua contoh tersebut menunjukkan bahwa kegagalan mengidentifikasi dan mengendalikan vektor non-nyamuk dapat secara langsung berujung pada wabah penyakit di komunitas. Sebagai calon ahli kesehatan masyarakat, kemampuan Anda untuk mengenali organisme ini, memahami bioekologinya, dan menerapkan strategi pengendalian yang tepat adalah kompetensi fundamental. Untuk membekali Anda dengan kemampuan tersebut, bab ini akan mengupas secara mendalam identifikasi, biologi, dan signifikansi kesehatan dari lima kelompok utama vektor non-nyamuk. Pembahasan akan dimulai dengan lalat sebagai vektor mekanik klasik, diikuti oleh kecoa dan perannya dalam kontaminasi dan alergi. Selanjutnya, kita akan mendalami dunia artropoda ektoparasit seperti pinjal, kutu, dan tungau. Bab ini juga akan membahas peran caplak dalam penularan penyakit zoonosis, serta ditutup dengan analisis komprehensif mengenai tikus sebagai reservoir penyakit yang sangat relevan dalam konteks urban dan rural di Indonesia.

C. Lalat sebagai vektor mekanik

Lalat, khususnya lalat rumah (*Musca domestica*) dan lalat hijau (*Chrysomya megacephala*), merupakan contoh klasik dari vektor mekanik. Sebagaimana telah diulas pada Bab 2, peran sebagai vektor mekanik berarti organisme tersebut memindahkan agen penyakit secara pasif tanpa adanya siklus biologis patogen di dalam tubuhnya. Lalat menjadi agen pemindah yang sangat efisien karena dua

faktor utama: biologi dan perilakunya. Secara morfologis, tubuh lalat dipenuhi rambut-rambut halus (setae), terutama pada kaki dan bagian mulutnya (probosis). Struktur ini berfungsi seperti sikat mikro yang dengan mudah mengambil partikel, termasuk mikroorganisme patogen, dari permukaan tempatnya hinggap. Perilaku lalat yang sering berpindah-pindah antara sumber kotoran (seperti feses, sampah, bangkai) dan makanan manusia menciptakan jembatan kontaminasi yang sempurna.

DEFINISI

Vektor Mekanik adalah organisme yang memindahkan agen penyakit dari satu tempat ke tempat lain secara fisik. Patogen menempel pada bagian luar tubuh (kaki, sayap, mulut) atau tertelan dan dikeluarkan kembali tanpa mengalami perubahan, perkembangan, atau multiplikasi di dalam tubuh vektor.

Sebagai ilustrasi, mari kita terapkan konsep ini pada konteks Indonesia. Bayangkan sebuah Tempat Pembuangan Sementara (TPS) di kawasan padat penduduk seperti Johar Baru, Jakarta Pusat. Tumpukan sampah organik yang membusuk menjadi habitat ideal bagi lalat untuk berkembang biak dan mencari makan (Fazri, 2023). Seekor lalat rumah hinggap di atas sampah yang terkontaminasi bakteri *Shigella dysenteriae* dari popok bekas. Puluhan bakteri menempel pada bantalan lengket di kakinya (pulvilli). Beberapa menit kemudian, lalat yang sama terbang ke warung makan terdekat dan hinggap di atas hidangan gado-gado yang siap disajikan. Proses ini, yang dikenal sebagai transmisi mekanis, secara langsung memindahkan patogen ke makanan. Konsumen yang menyantap makanan tersebut berisiko tinggi menderita disentri basiler. Pengelolaan sampah yang buruk secara langsung berkorelasi dengan peningkatan populasi lalat dan risiko penyakit tular lalat (Sawitri, 2023).

Implikasi kesehatan masyarakat dari peran lalat sebagai vektor mekanik sangatlah luas, terutama terkait dengan penyakit-penyakit saluran pencernaan (*enteric diseases*). Lalat terbukti mampu memindahkan lebih dari 100 jenis patogen, termasuk bakteri (misalnya *Salmonella*, *E. coli*, *Vibrio cholerae*), virus (misalnya virus polio, hepatitis A), protozoa (misalnya *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia*), dan telur cacing (misalnya *Ascaris lumbricoides*). Oleh karena itu, kepadatan populasi lalat dapat dijadikan salah satu indikator sanitasi lingkungan. Tingginya populasi lalat di suatu area, seperti pasar tradisional atau pemukiman kumuh, mengindikasikan adanya masalah dalam pengelolaan sampah, sistem pembuangan limbah, dan higiene perorangan. Strategi pengendaliannya harus berfokus pada perbaikan sanitasi lingkungan untuk menghilangkan tempat berkembang biak (*source reduction*), sebagaimana akan

dibahas lebih lanjut pada Bab 10, bukan semata-mata pada penggunaan insektisida.

D. Kecoa dan perannya dalam kesehatan

Seperti halnya lalat, kecoa adalah vektor mekanik yang perannya seringkali terabaikan meskipun keberadaannya sangat dekat dengan manusia. Spesies yang paling umum ditemukan di lingkungan permukiman Indonesia adalah kecoa Jerman (*Blattella germanica*) yang berukuran kecil dan sering ditemukan di dapur atau area penyimpanan makanan, serta kecoa Amerika (*Periplaneta americana*) yang berukuran lebih besar dan mendominasi area lembap dan gelap seperti saluran pembuangan, selokan, dan gudang. Perilaku nokturnal dan thigmotactic (suka merayap di celah sempit) membuat infestasi kecoa sering tidak disadari hingga populasinya menjadi sangat besar. Peran kecoa dalam kesehatan masyarakat bersifat ganda: sebagai vektor mekanik penyakit dan sebagai sumber alergen yang signifikan.

Sebagai vektor mekanik, kecoa memindahkan patogen dengan cara yang mirip dengan lalat. Mereka memakan berbagai macam bahan organik, termasuk sisa makanan, sampah, dan bahkan feses. Saat merayap melintasi permukaan yang terkontaminasi, patogen menempel pada kaki dan tubuhnya. Patogen juga dapat bertahan hidup di dalam saluran pencernaan kecoa dan kemudian dikeluarkan melalui muntahan (regurgitasi) atau kotorannya. Bayangkan sebuah dapur restoran di kawasan wisata Kuta, Bali. Kecoa Amerika yang hidup di saluran pembuangan dapat masuk ke area dapur pada malam hari, merayap di atas talenan dan peralatan masak, meninggalkan jejak bakteri *Salmonella* yang dibawanya. Kontaminasi silang ini dapat menyebabkan wabah keracunan makanan pada pelanggan restoran. Isu ini menggarisbawahi pentingnya kesehatan lingkungan dalam pencegahan penyakit menular (Tanjung, 2023).

Selain perannya sebagai vektor mekanik, kecoa menghasilkan protein spesifik dalam air liur, kotoran, dan serpihan tubuhnya yang merupakan alergen kuat bagi sebagian orang. Paparan kronis terhadap alergen kecoa, terutama di dalam ruangan, merupakan faktor risiko utama untuk perkembangan dan pemicu serangan asma, khususnya pada anak-anak yang tinggal di perumahan padat dan kurang terawat. Alergen ini dapat terhirup bersama debu rumah. Implikasinya, pengendalian kecoa bukan hanya masalah pengendalian infeksi, tetapi juga bagian dari manajemen penyakit pernapasan kronis. Upaya menciptakan lingkungan sehat bebas dari vektor penyakit merupakan sebuah keharusan (Fazri, 2023).

Untuk dapat menerapkan strategi pengendalian yang tepat, identifikasi spesies menjadi langkah awal yang krusial. Berikut adalah perbandingan karakteristik dan implikasi kesehatan dari dua spesies kecoa yang paling umum di Indonesia.

Tabel 5.1 Perbandingan Karakteristik dan Implikasi Kesehatan Kecoa Jerman dan Kecoa Amerika

Karakteristik	Kecoa Jerman (<i>Blattella germanica</i>)	Kecoa Amerika (<i>Periplaneta americana</i>)
Ukuran Dewasa	1.3 – 1.6 cm	3.5 – 5.3 cm
Warna	Coklat muda dengan dua garis gelap di pronotum	Coklat kemerahan dengan pita kuning di tepi pronotum
Habitat Utama	Dapur, area pemrosesan makanan, celah hangat & lembap	Saluran pembuangan, selokan, basement, area lembap & gelap
Potensi Reproduksi	Sangat tinggi (ooteka berisi 30-40 telur, siklus hidup pendek)	Tinggi (ooteka berisi 14-16 telur, siklus hidup lebih panjang)
Peran Utama	Kontaminasi makanan di level dapur, sumber alergen dalam ruangan	Kontaminasi dari selokan ke area bersih, vektor mekanik patogen berat
Implikasi Kesehatan	Pemicu utama asma alergi, penyebar bakteri di area persiapan makanan	Penyebarkan patogen dari limbah (mis. <i>E. coli</i> , <i>Salmonella</i>), kontaminasi skala besar
Strategi Kontrol	Fokus pada kebersihan dapur, penggunaan umpan gel, menutup celah	Perbaikan sanitasi drainase, penutupan akses dari selokan, <i>space spray</i>

Tabel di atas menunjukkan bahwa meskipun sama-sama berbahaya, strategi pengendalian untuk kecoa Jerman dan Amerika perlu dibedakan berdasarkan biologi dan habitatnya untuk mencapai hasil yang efektif.

E. Pinjal, Kutu, dan Tungau

Berbeda dengan lalat dan kecoa yang merupakan vektor mekanik, kelompok artropoda yang terdiri dari pinjal, kutu, dan tungau mencakup banyak spesies

yang berperan sebagai vektor biologis. Organisme-organisme ini umumnya merupakan ektoparasit, hidup menumpang pada permukaan tubuh inangnya, dan menghisap darah untuk kelangsungan hidupnya. Saat menghisap darah, mereka dapat menularkan agen penyakit yang telah berkembang biak di dalam tubuh mereka. Kemampuan identifikasi dasar untuk membedakan ketiganya sangat penting karena penyakit yang ditularkan dan strategi pengendaliannya sangat berbeda.

1. Pinjal (Fleas): Pinjal adalah serangga dari ordo Siphonaptera, yang dicirikan oleh tubuhnya yang pipih secara lateral (pipih ke samping), tidak bersayap, dan memiliki kaki belakang yang kuat untuk melompat. Ciri ini merupakan adaptasi untuk bergerak dengan mudah di antara rambut atau bulu inang. Spesies yang paling signifikan dari sudut pandang kesehatan masyarakat adalah pinjal tikus oriental, *Xenopsylla cheopis*. Pinjal ini adalah vektor utama dari bakteri *Yersinia pestis*, agen penyakit pes (sampar). **Konsep:** Saat pinjal menghisap darah tikus yang terinfeksi, bakteri pes berkembang biak di dalam proventrikulus pinjal, membentuk sumbatan. **Contoh:** Ketika pinjal yang terblokir ini mencoba menghisap darah inang baru (bisa tikus lain atau manusia), darah yang terhisap tidak bisa masuk dan dimuntahkan kembali ke luka gigitan, membawa serta ribuan bakteri. **Implikasi:** Meskipun kasus pes di Indonesia saat ini jarang, beberapa daerah seperti Boyolali dan Pasuruan di Jawa pernah menjadi daerah endemis, dan potensi kemunculan kembali tetap ada selama populasi tikus dan pinjalnya tidak terkendali.

2. Kutu (Lice): Kutu adalah serangga dari ordo Phthiraptera, dengan tubuh pipih dorsoventral (pipih atas-bawah) dan tidak bersayap. Ada dua jenis utama yang menjadi parasit pada manusia: kutu kepala (*Pediculus humanus capitis*) dan kutu badan (*Pediculus humanus humanus*). Kutu kepala, meskipun sangat mengganggu dan menyebabkan gatal (pedikulosis), umumnya tidak dianggap sebagai vektor penyakit penting. **Contoh:** Wabah kutu kepala sering terjadi di lingkungan padat seperti sekolah dasar atau pondok pesantren di berbagai wilayah Indonesia, penularannya melalui kontak langsung kepala-ke-kepala atau berbagi sisir dan topi. Sebaliknya, kutu badan memiliki signifikansi medis yang jauh lebih besar. Kutu ini hidup dan meletakkan telur pada serat pakaian, dan hanya merayap ke tubuh untuk menghisap darah. Kutu badan adalah vektor dari *Rickettsia prowazekii*, penyebab tifus epidemik, penyakit yang sering dikaitkan dengan kondisi perang, kemiskinan, dan bencana alam dimana kebersihan diri dan penggantian pakaian sulit dilakukan.

3. Tungau (Mites): Tungau adalah araknida kecil yang seringkali tidak terlihat dengan mata telanjang. Dua jenis tungau yang penting secara medis di Indonesia adalah *Sarcoptes scabiei* dan tungau Trombiculidae. *Sarcoptes scabiei* adalah penyebab kudis (skabies), di mana tungau betina dewasa menggali liang

di bawah lapisan kulit untuk bertelur, menyebabkan rasa gatal yang hebat dan ruam. Penyakit ini sangat menular dan sering menjadi masalah di lingkungan komunal seperti panti asuhan dan barak. Sementara itu, larva tungau Trombiculidae (dikenal sebagai *chiggers* atau tungau belukar) adalah vektor dari *Orientia tsutsugamushi*, bakteri penyebab penyakit demam semak (*scrub typhus*).

Contoh: Para pekerja perkebunan kelapa sawit di Sumatra atau Kalimantan berisiko tinggi terinfeksi saat mereka duduk atau berbaring di tanah yang dihinggapi larva tungau ini. Pengetahuan ini penting untuk analisis risiko di fasilitas pelayanan kesehatan yang melayani pekerja di sektor tersebut (Fitri, 2022).

F. Caplak dan peran zoonosis

Caplak (ticks) adalah artropoda ektoparasit penghisap darah dari kelas Arachnida, sama seperti tungau, namun berukuran jauh lebih besar. Identifikasi caplak relatif mudah dibedakan dari kutu dan pinjal berdasarkan ciri tubuhnya yang tidak bersegmen dan menyatu (idiosoma), memiliki delapan kaki pada stadium nimfa dan dewasa, serta bagian mulut (hipostom) yang khas untuk menancap pada kulit inang. Peran caplak dalam kesehatan masyarakat dan veteriner sangat signifikan karena mereka adalah vektor yang sangat kompeten untuk berbagai macam agen penyakit zoonosis, yaitu penyakit yang dapat ditularkan dari hewan ke manusia. Kemampuan ini diperkuat oleh siklus hidupnya yang panjang dan kompleks, serta kemampuannya menghisap darah dalam jumlah besar.

Siklus hidup caplak, yang akan diilustrasikan pada gambar di bawah, umumnya terdiri dari empat tahap: telur, larva berkaki enam, nimfa berkaki delapan, dan dewasa. Tergantung pada spesiesnya, caplak mungkin memerlukan satu, dua, atau tiga inang yang berbeda untuk menyelesaikan siklus hidupnya. Mekanisme penularan penyakit oleh caplak sangat efisien. Mereka dapat menularkan patogen secara transstadial (patogen bertahan dari satu stadium ke stadium berikutnya, misal dari larva ke nimfa) dan transovarial (patogen diturunkan dari caplak betina ke telur-telurnya). Hal ini memastikan agen penyakit tetap ada dalam populasi caplak bahkan tanpa adanya inang yang terinfeksi secara terus-menerus. Perilaku hewan inang, seperti pola merumput atau migrasi, sangat memengaruhi penyebaran caplak dan penyakit yang dibawanya (Amrullah, 2021).



Gambar 5.1 Siklus Hidup Caplak Berinang Tiga (*Three-Host Tick*).

Diagram di atas menunjukkan bagaimana caplak dapat menjadi jembatan epidemiologis antara satwa liar, hewan domestik, dan manusia. Setiap tahap pergantian inang merupakan potensi penularan penyakit.

Konteks Indonesia memberikan contoh nyata tentang pentingnya peran caplak. Di sektor peternakan, caplak *Boophilus microplus* menjadi momok bagi peternak sapi di sentra-sentra produksi seperti Boyolali, Jawa Tengah, dan Lampung. Caplak ini adalah vektor utama untuk protozoa *Babesia* spp. dan bakteri *Anaplasma* spp., yang menyebabkan penyakit babesiosis dan anaplasmosis yang fatal pada sapi. Baru-baru ini, Indonesia juga dihadapkan pada wabah *Lumpy Skin Disease* (LSD) pada sapi, sebuah penyakit virus yang menyebabkan kerugian ekonomi besar. Meskipun penularan utamanya melalui serangga penghisap darah lain, caplak juga dicurigai kuat berperan sebagai vektor mekanik maupun biologis untuk virus LSD (Sendow, 2021). Dari perspektif kesehatan manusia, meskipun kasus penyakit tular caplak (*tick-borne diseases*) di Indonesia belum terdokumentasi sebanyak di negara-negara subtropis, potensi risikonya tidak boleh diabaikan seiring dengan meningkatnya interaksi manusia dengan satwa liar dan perubahan iklim yang dapat memperluas sebaran geografis caplak dan patogen yang dibawanya.

G. Tikus Sebagai Reservoir Penyakit

Meskipun bab ini berfokus pada vektor non-nyamuk yang sebagian besar adalah artropoda, pembahasan tidak akan lengkap tanpa menyertakan tikus (rodensia). Perlu ditekankan perbedaan fundamental peran tikus dibandingkan organisme lain yang telah dibahas. Sebagaimana dijelaskan dalam konsep rantai penularan penyakit pada Bab 2, tikus lebih tepat diklasifikasikan sebagai **reservoir** penyakit, bukan vektor. Artinya, tikus adalah organisme tempat agen penyakit dapat hidup, berkembang biak, dan bertahan secara alami, yang kemudian dapat ditularkan ke manusia baik secara langsung maupun melalui perantara vektor artropoda. Spesies komensal yang paling relevan dengan

kesehatan masyarakat di Indonesia adalah tikus got (*Rattus norvegicus*), tikus atap (*Rattus rattus*), dan mencit rumah (*Mus musculus*).

Penularan penyakit dari tikus ke manusia dapat terjadi melalui beberapa mekanisme. Pertama, melalui kontak langsung dengan urine, feses, atau air liur tikus yang terkontaminasi. Contoh paling dramatis di Indonesia adalah wabah leptospirosis pasca-banjir di kota-kota besar seperti Jakarta, Semarang, dan Surabaya. Tikus got (*R. norvegicus*), sebagai reservoir utama bakteri *Leptospira interrogans*, mengeluarkan bakteri ini melalui urinenya. Saat banjir, urine tersebut mencemari genangan air. Manusia yang memiliki luka terbuka di kulit dan berjalan di air banjir tersebut sangat rentan terinfeksi, menyebabkan penyakit dengan spektrum gejala dari ringan hingga berat (gagal ginjal dan hati). Pengelolaan sampah dan drainase yang buruk menjadi faktor pemicu utama, karena menyediakan habitat dan makanan bagi populasi tikus (Sawitri, 2023).

Kedua, melalui gigitan tikus, meskipun ini lebih jarang terjadi. Penyakit seperti demam gigitan tikus (*rat-bite fever*) disebabkan oleh bakteri yang ada di mulut tikus. Ketiga, dan yang paling relevan dengan konteks bab ini, adalah peran tikus sebagai inang bagi vektor artropoda. Tikus adalah inang utama bagi pinjal *Xenopsylla cheopis*, vektor penyakit pes, yang telah dibahas pada sub-bab sebelumnya. Dengan demikian, tikus berfungsi ganda: sebagai reservoir untuk *Yersinia pestis* dan sebagai "kendaraan" yang membawa vektor (pinjal) mendekat ke lingkungan manusia. Rantai penularan ini menggarisbawahi kompleksitas ekologi penyakit tular vektor dan pentingnya pendekatan pengendalian terpadu.

PERHATIAN

Mengendalikan tikus bukan sekadar membunuh individu yang terlihat. Strategi yang efektif, yang dikenal sebagai Manajemen Rodensia Terpadu (*Integrated Rodent Management*), harus menargetkan akar masalah. Ini mencakup tiga pilar utama: a. **Sanitasi**, yaitu menghilangkan sumber makanan dan air melalui pengelolaan sampah yang benar; b. **Rodent-proofing**, yaitu membuat bangunan tidak dapat dimasuki tikus dengan menutup celah dan lubang; dan c. **Pengurangan populasi**, melalui pemasangan perangkap atau penggunaan rodentisida secara bijaksana dan aman.

Implikasinya bagi kesehatan masyarakat sangat jelas. Surveilans dan pengendalian populasi tikus komensal adalah komponen vital dalam program pencegahan penyakit menular di perkotaan maupun pedesaan. Keberhasilan program ini sangat bergantung pada kolaborasi lintas sektor dan pemberdayaan masyarakat untuk menciptakan lingkungan yang tidak mendukung kehidupan tikus (Fazri, 2023). Analisis data kepadatan tikus dan prevalensi patogen yang

dibawanya akan menjadi dasar penting untuk analisis risiko dan penentuan prioritas intervensi, yang akan dibahas lebih lanjut pada Bab 9.

H. Rangkuman

Vektor non-nyamuk seperti lalat, kecoa, pinjal, kutu, dan tungau menimbulkan ancaman kesehatan masyarakat yang signifikan, yang pengendaliannya menuntut pemahaman mendalam tentang biologi dan perilakunya. Bab ini membedah peran lalat dan kecoa sebagai vektor mekanik utama, yang memindahkan patogen secara pasif dari lingkungan kotor ke manusia. Lalat, seperti *Musca domestica*, memanfaatkan morfologi tubuhnya yang berambut dan perilaku hinggapnya yang berpindah-pindah antara feces dan makanan untuk menjadi jembatan kontaminasi penyakit enterik seperti disentri dan kolera. Kepadatan populasinya berfungsi sebagai indikator langsung dari buruknya sanitasi lingkungan, menekankan bahwa strategi pengendalian utama adalah perbaikan sanitasi (*source reduction*), bukan sekadar penggunaan insektisida. Serupa dengan lalat, kecoa—terutama *Blattella germanica* di dapur dan *Periplaneta americana* di saluran pembuangan—juga merupakan vektor mekanik yang efisien. Namun, peran kecoa bersifat ganda: selain menyebarkan patogen seperti *Salmonella*, mereka juga merupakan sumber alergen kuat yang memicu serangan asma, terutama pada anak-anak. Implikasi ganda ini menuntut strategi pengendalian yang spesifik berdasarkan spesies, habitat, dan risiko kesehatan yang ditimbulkannya, sebagaimana diilustrasikan dalam perbandingan kedua spesies kecoa tersebut. Berbeda dengan lalat dan kecoa, kelompok pinjal, kutu, dan tungau umumnya berfungsi sebagai vektor biologis. Sebagai ektoparasit penghisap darah, mereka menularkan patogen yang telah melalui siklus perkembangan di dalam tubuh mereka. Perbedaan fundamental antara transmisi mekanis dan biologis ini menggarisbawahi bahwa identifikasi akurat terhadap vektor yang terlibat adalah langkah awal yang paling krusial dalam merancang intervensi kesehatan masyarakat yang efektif dan tepat sasaran.

I. Latihan Mahasiswa

a. Essay

1. Bandingkan dan kontraskan mekanisme transmisi penyakit oleh lalat rumah (*Musca domestica*) dan kecoa Amerika (*Periplaneta americana*). Analisislah bagaimana perbedaan perilaku dan habitat utama kedua spesies tersebut menghasilkan jalur kontaminasi yang berbeda pula dalam lingkungan permukiman padat penduduk.
2. Evaluasi pernyataan bahwa "kepadatan populasi lalat dapat dijadikan salah satu indikator sanitasi lingkungan". Telaah keterkaitan antara biologi lalat, perilaku manusia terkait pengelolaan limbah, dan dampaknya terhadap

risiko penyebaran penyakit saluran pencernaan (*enteric diseases*) untuk mendukung evaluasi Anda.

3. Analisislah implikasi kesehatan masyarakat yang bersifat ganda dari infestasi kecoa Jerman (*Blattella germanica*) di sebuah apartemen atau rumah susun. Mengapa upaya pengendaliannya menjadi penting tidak hanya untuk pencegahan penyakit infeksi, tetapi juga sebagai bagian dari manajemen penyakit pernapasan kronis?
4. Berdasarkan informasi dalam Tabel 5.1, rumuskan sebuah kerangka strategi pengendalian terpadu untuk sebuah restoran yang mengalami infestasi gabungan. Ditemukan kecoa Jerman di area persiapan makanan dan dapur, sementara kecoa Amerika teridentifikasi berasal dari saluran pembuangan di area gudang.
5. Argumentasikan mengapa identifikasi spesies vektor merupakan langkah yang lebih krusial daripada pemilihan jenis insektisida dalam merancang program pengendalian vektor non-nyamuk yang efektif dan berkelanjutan. Gunakan contoh perbedaan strategi pengendalian antara kecoa Jerman dan kecoa Amerika untuk memperkuat argumen Anda.

b. Pilihan Berganda

1. Organisme yang memindahkan agen penyakit secara fisik tanpa patogen tersebut mengalami multiplikasi di dalam tubuhnya didefinisikan sebagai...
 - a. Vektor biologis
 - b. Vektor mekanik
 - c. Inang reservoir
 - d. Inang definitif
2. Struktur morfologis pada tubuh lalat yang paling berperan dalam mengambil dan memindahkan partikel patogen secara efisien adalah...
 - a. Sayap transparan dan antena
 - b. Mata majemuk yang besar
 - c. Kaki dan probosis yang dipenuhi rambut halus (setae)
 - d. Abdomen yang mampu menyimpan makanan cair
3. Pengelolaan sampah yang buruk di kawasan padat penduduk secara langsung berkorelasi dengan peningkatan risiko penyakit berikut yang ditularkan oleh lalat, KECUALI...
 - a. Disentri basiler
 - b. Demam berdarah dengue
 - c. Kolera
 - d. Tifoid

4. Sesuai Tabel 5.1, perbedaan habitat utama yang paling signifikan antara kecoa Jerman (*Blattella germanica*) dan kecoa Amerika (*Periplaneta americana*) adalah...
 - a. Kecoa Jerman di area kering, kecoa Amerika di area basah
 - b. Kecoa Jerman di dalam ruangan (dapur), kecoa Amerika di luar ruangan (selokan)
 - c. Kecoa Jerman di tempat tinggi, kecoa Amerika di tempat rendah
 - d. Kecoa Jerman aktif siang hari, kecoa Amerika aktif malam hari
5. Peran ganda kecoa dalam kesehatan masyarakat yang paling signifikan adalah sebagai...
 - a. Vektor mekanik penyakit dan sumber alergen pemicu asma
 - b. Vektor mekanik dan vektor biologis sekaligus
 - c. Perusak bahan makanan dan penyebab fobia pada manusia
 - d. Penyebar bakteri dan penyebar virus secara eksklusif
6. Kepadatan populasi lalat sering dijadikan indikator sanitasi lingkungan karena...
 - a. Lalat hanya dapat hidup di lingkungan yang sangat kotor
 - b. Siklus hidup lalat sangat bergantung pada ketersediaan sampah organik dan feses sebagai tempat berkembang biak
 - c. Lalat membawa lebih dari 100 jenis patogen yang berbeda
 - d. Insektisida tidak efektif untuk mengendalikan populasi lalat
7. Strategi pengendalian vektor yang berfokus pada perbaikan sanitasi lingkungan untuk menghilangkan tempat berkembang biak, seperti yang direkomendasikan untuk lalat, dikenal sebagai...
 - a. Pengendalian kimiawi
 - b. Pengendalian biologis
 - c. *Source reduction*
 - d. *Space spraying*
8. Berdasarkan deskripsi awal, kelompok serangga dari ordo Siphonaptera yang memiliki tubuh pipih lateral dan kaki belakang kuat untuk melompat adalah...
 - a. Kutu
 - b. Tungau
 - c. Kecoa
 - d. Pinjal
9. Berbeda dengan lalat dan kecoa, pinjal, kutu, dan tungau umumnya berperan sebagai vektor biologis. Ini berarti agen penyakit...
 - a. Hanya menempel di bagian luar tubuh vektor
 - b. Mengalami siklus hidup atau multiplikasi di dalam tubuh vektor
 - c. Selalu ditularkan melalui gigitan yang menyakitkan

- d. Mati saat berada di dalam tubuh vektor
- 10. Salah satu contoh patogen bakteri berat yang dapat dipindahkan oleh kecoa Amerika dari selokan ke area dapur restoran adalah...
 - a. Virus Hepatitis A
 - b. *Ascaris lumbricoides*
 - c. *Salmonella* sp.
 - d. Alergen protein spesifik

c. Soal Project / Studi Kasus

1. Anda adalah seorang sanitarian yang ditugaskan di Puskesmas Kecamatan Johar Baru. Terdapat laporan peningkatan kasus diare akut di RW 05, sebuah area padat penduduk yang berdekatan langsung dengan Tempat Pembuangan Sementara (TPS). Saat survei awal, Anda mengamati populasi lalat yang sangat tinggi di sekitar TPS, warung makan, dan pemukiman warga. Sampah rumah tangga terlihat menumpuk di beberapa titik selain di TPS. Berdasarkan prinsip-prinsip yang dibahas dalam bab ini, rumuskan rencana investigasi awal dan tiga rekomendasi intervensi non-kimiawi prioritas yang dapat segera diusulkan kepada ketua RW dan masyarakat setempat untuk menekan risiko transmisi penyakit.
2. Kepala sekolah sebuah SD swasta di kawasan Kuta menghubungi dinas kesehatan karena adanya peningkatan keluhan dan absensi siswa akibat serangan asma dalam tiga bulan terakhir. Sekolah tersebut memiliki bangunan yang cukup tua. Saat melakukan inspeksi, Anda menemukan infestasi kecoa berukuran kecil dan berwarna coklat muda di area kantin, terutama di sekitar lemari penyimpanan makanan, di bawah wastafel, dan di celah-celah dinding yang hangat di belakang kulkas. Analisislah situasi ini dengan mengidentifikasi kemungkinan spesies vektor, jelaskan mekanisme yang menghubungkan keberadaan vektor tersebut dengan kasus asma, dan usulkan sebuah rencana aksi komprehensif yang melibatkan pihak sekolah, pengelola kantin, dan orang tua murid.

BAB 6

SURVEILANS ENTOMOLOGI

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah menyelesaikan pembahasan pada bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menentukan desain survei vektor yang paling sesuai untuk menginvestigasi transmisi lokal malaria di wilayah endemis seperti Kabupaten Sumba Timur, Nusa Tenggara Timur.
2. Menerapkan teknik sampling larva dan pupa *Aedes aegypti* menggunakan metode standar seperti *single larva survey* atau survei visual untuk menghitung Angka Bebas Jentik (ABJ) di suatu kelurahan.
3. Menggunakan berbagai jenis alat surveilans, seperti *CDC light trap* untuk nyamuk nokturnal dan *oviposition trap* (ovitrap) untuk nyamuk *Aedes*, sesuai dengan tujuan dan target spesies vektor.
4. Menghitung indeks-indeks entomologi kunci—seperti *House Index* (HI), *Container Index* (CI), dan Kepadatan Manusia per Jam (*Man Biting Rate*)—dari data mentah hasil survei lapangan.
5. Memilih metode sampling nyamuk dewasa yang tepat (misalnya, koleksi aspirator di dalam rumah atau penangkapan dengan umpan orang di luar rumah) berdasarkan perilaku vektor yang menjadi target program pengendalian.

B. Pengantar

Bayangkan sebuah skenario yang lazim terjadi di banyak kota di Indonesia: sebuah kelurahan baru saja menyelesaikan program pengasapan (*fogging*) massal untuk menekan lonjakan kasus Demam Berdarah Dengue (DBD). Namun, hanya dalam hitungan tiga minggu, laporan kasus baru kembali meningkat tajam, seolah-olah intervensi bernilai puluhan juta rupiah tersebut tidak memberikan dampak signifikan. Situasi ini menimbulkan pertanyaan fundamental bagi praktisi kesehatan masyarakat: mengapa intervensi yang tampak masif tersebut gagal? Jawabannya sering kali terletak pada ketiadaan data yang menjadi dasar pengambilan keputusan. Program pengendalian vektor yang dijalankan tanpa pemahaman mendalam mengenai populasi, sebaran, dan perilaku vektor targetnya ibarat menembak dalam gelap. Di sinilah peran krusial surveilans entomologi sebagai "mata dan telinga" program pengendalian vektor. Konsep dasarnya adalah pengumpulan, analisis, dan interpretasi data vektor secara sistematis dan berkelanjutan untuk memandu perencanaan, implementasi, dan evaluasi intervensi. Sebagai contoh, keberhasilan program

eliminasi malaria di Kabupaten Kulon Progo, DIY, tidak terlepas dari penerapan surveilans entomologi yang ketat. Tim kesehatan setempat tidak hanya melakukan penyemprotan insektisida secara acak, tetapi menargetkan area dan waktu spesifik berdasarkan data pemetaan sarang perkembangbiakan (*breeding site*) dan puncak aktivitas menggigit nyamuk *Anopheles* lokal. Implikasinya jelas: efektivitas sebuah program tidak diukur dari volume insektisida yang digunakan, melainkan dari ketepatan intervensi yang didasarkan pada bukti ilmiah (data entomologi), sebuah kompetensi inti yang harus dimiliki oleh setiap sarjana kesehatan masyarakat.

Pelaksanaan surveilans entomologi yang andal bukanlah sekadar aktivitas "mencari jentik" atau "menangkap nyamuk". Ia adalah sebuah proses ilmiah yang terstruktur dan menuntut metodologi yang tepat. Setiap keputusan—mulai dari penentuan lokasi, frekuensi, hingga teknik pengambilan sampel—akan berdampak langsung pada validitas data yang dihasilkan dan, pada akhirnya, pada efektivitas program kesehatan. Konsep ini dapat diilustrasikan dengan membandingkan surveilans untuk dua penyakit berbeda. Untuk memantau risiko DBD yang ditularkan oleh *Aedes aegypti*, seorang entomolog kesehatan mungkin akan merancang survei berbasis rumah tangga di area padat penduduk, menggunakan metode sampling larva dengan *dipper* atau pipet untuk menghitung *House Index* dan *Container Index*. Sebaliknya, untuk memantau vektor malaria seperti *Anopheles farauti* di Papua yang aktif pada malam hari dan cenderung berada di luar rumah (*eksofagik*), metode yang dipilih akan sangat berbeda. Survei mungkin akan melibatkan pemasangan *CDC light trap* di dekat kandang ternak atau melakukan penangkapan dengan umpan orang (*human landing catch*) di beranda rumah pada jam-jam puncak aktivitasnya. Implikasi dari pemilihan metode yang keliru sangat fatal; penggunaan metode yang tidak sesuai dengan bioekologi vektor akan menghasilkan data yang bias, memberikan rasa aman yang palsu, atau sebaliknya, memicu alarm yang tidak perlu, yang keduanya berujung pada alokasi sumber daya yang tidak efisien.

Memahami urgensi dan kompleksitas metodologis tersebut, Bab 6 ini dirancang untuk membekali Anda dengan pengetahuan konseptual dan keterampilan aplikatif untuk merancang dan melaksanakan surveilans entomologi. Pembahasan akan diawali dengan pendalaman konsep dan tujuan fundamental surveilans sebagai landasan berpikir strategis. Selanjutnya, kita akan beralih ke aspek praktis, yaitu bagaimana cara menyusun desain survei vektor yang robust dan sesuai dengan konteks lokal. Bab ini kemudian akan mengupas secara detail berbagai metode sampling untuk stadium pralewasa (larva dan pupa) maupun stadium dewasa, lengkap dengan kelebihan dan keterbatasannya. Terakhir, Anda akan diperkenalkan dengan berbagai alat surveilans esensial—mulai dari ovitrap, *light trap*, hingga aspirator—dan cara

menggunakannya secara benar untuk memperoleh data yang akurat. Melalui serangkaian studi kasus dan ilustrasi dari konteks Indonesia, Anda diharapkan tidak hanya memahami teori, tetapi juga mampu menerapkan prinsip-prinsip surveilans entomologi dalam situasi nyata di lapangan.

C. Konsep dan Tujuan Surveilans

Surveilans entomologi adalah tulang punggung dari setiap program pengendalian vektor yang rasional dan berbasis bukti. Berbeda dari survei sesaat yang hanya memberikan gambaran statis (*snapshot*), surveilans merupakan proses pengumpulan, analisis, interpretasi, dan diseminasi data vektor secara sistematis dan berkelanjutan. Sebagaimana sistem pengendalian intern dalam sebuah organisasi yang berfungsi untuk memantau dan menilai risiko secara terus-menerus (Herawati, 2022), surveilans entomologi berfungsi sebagai "sistem peringatan dini" dan "alat navigasi" bagi manajer program kesehatan masyarakat. Tujuannya bukan sekadar mengetahui "apakah ada nyamuk", melainkan menjawab pertanyaan-pertanyaan strategis: di mana vektor berada, berapa kepadatannya, kapan waktu aktifnya, bagaimana perilakunya, dan apakah intervensi yang dilakukan efektif? Tanpa jawaban atas pertanyaan-pertanyaan ini, program pengendalian vektor akan berjalan tanpa arah, menghabiskan sumber daya tanpa dampak yang terukur.

Tujuan utama surveilans entomologi dapat diklasifikasikan ke dalam empat fungsi strategis. Pertama, **deteksi dini dan prediksi risiko**. Dengan memantau kepadatan dan sebaran vektor secara rutin, otoritas kesehatan dapat mengidentifikasi peningkatan populasi vektor yang berpotensi memicu wabah. Sebagai contoh, pemantauan indeks ovitrap mingguan di kelurahan-kelurahan padat penduduk di Jakarta dapat memberikan sinyal peringatan dini akan peningkatan risiko transmisi DBD, memungkinkan intervensi promotif dan preventif sebelum kasus klinis meledak. Kedua, **perencanaan dan penargetan intervensi**. Data surveilans memungkinkan alokasi sumber daya yang efisien dengan memfokuskan upaya pengendalian pada area, waktu, dan perilaku vektor yang paling krusial. Program eliminasi malaria di Kabupaten Purworejo, misalnya, sangat bergantung pada data surveilans untuk memetakan lokasi-lokasi spesifik sarang perkembangbiakan *Anopheles* dan menargetkan penyemprotan insektisida residu (IRS) hanya pada rumah-rumah di zona risiko tinggi (Fitriani, 2023).

Ketiga, **monitoring dan evaluasi program**. Surveilans menyediakan data dasar (*baseline*) sebelum intervensi dan data pemantauan setelah intervensi, yang esensial untuk mengukur efektivitas. Apakah program *fogging* berhasil menurunkan kepadatan nyamuk dewasa? Apakah gerakan Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) berhasil menurunkan Angka Bebas Jentik (ABJ)? Jawaban atas pertanyaan ini hanya bisa didapat melalui surveilans yang terstruktur.

Keempat, **deteksi resistensi insektisida**. Pengumpulan vektor dari lapangan secara berkala untuk diuji kerentanannya terhadap insektisida (yang akan dibahas pada Bab 13) adalah komponen vital dari surveilans. Hal ini penting untuk memastikan insektisida yang digunakan dalam program masih efektif dan untuk memandu kebijakan rotasi insektisida. Integrasi data vektor dengan data lingkungan dan kesehatan manusia pada akhirnya menjadi kunci pencegahan penyakit menular yang komprehensif (Tanjung, 2023).

DEFINISI

Surveilans Entomologi adalah pengamatan yang sistematis, aktif, dan berkelanjutan terhadap populasi vektor dan agen penyakit yang ditularkannya. Ini mencakup pengumpulan, analisis, dan interpretasi data untuk digunakan dalam perencanaan, implementasi, dan evaluasi program pengendalian penyakit tular vektor.

Secara keseluruhan, konsep surveilans melampaui sekadar pengumpulan data; ia adalah sebuah siklus intelijen kesehatan masyarakat. Data yang terkumpul harus dianalisis untuk menghasilkan informasi, informasi tersebut diinterpretasikan untuk menghasilkan pengetahuan, dan pengetahuan tersebut didiseminasikan kepada para pengambil keputusan untuk memandu tindakan. Tindakan atau intervensi yang diambil kemudian dievaluasi kembali dampaknya melalui siklus surveilans berikutnya. Siklus inilah yang membedakan program pengendalian vektor yang reaktif dan sporadis dengan program yang proaktif, adaptif, dan berkelanjutan. Tanpa surveilans, kita hanya bereaksi terhadap wabah; dengan surveilans, kita dapat mencegahnya terjadi.

D. Desain Survei Vektor

Merancang sebuah survei vektor adalah langkah krusial yang menentukan validitas dan kegunaan data yang akan dikumpulkan. Desain survei yang baik harus selaras dengan tujuan spesifik, karakteristik bioekologi vektor target, serta ketersediaan sumber daya. Kesalahan dalam desain dapat menghasilkan data yang bias, tidak representatif, dan pada akhirnya menyesatkan pengambilan keputusan. Secara umum, desain survei dapat dibedakan berdasarkan dimensi waktu (*cross-sectional* vs. *longitudinal*) dan metode pemilihan sampel (*probabilitas* vs. *non-probabilitas*). Pemilihan desain yang tepat merupakan fondasi untuk menghasilkan sistem pemantauan yang andal, serupa dengan pentingnya sistem pengendalian yang terencana dalam manajemen (Pratasik, 2023).

Desain *cross-sectional* (potong lintang) adalah desain yang paling umum digunakan, di mana data dikumpulkan pada satu titik waktu tertentu untuk mendapatkan gambaran sesaat mengenai populasi vektor. Contohnya adalah survei jentik serentak di 100 rumah di sebuah RW untuk menghitung *House*

Index (HI) dan *Container Index* (CI) pada bulan April. Desain ini relatif cepat, murah, dan cocok untuk menilai risiko secara periodik atau mengevaluasi dampak intervensi jangka pendek. Sebaliknya, desain *longitudinal* melibatkan pengumpulan data berulang kali dari unit sampel yang sama selama periode waktu tertentu. Contohnya adalah pemantauan ovitrap yang sama di 10 lokasi strategis di Kota Bandung setiap minggu selama satu tahun. Desain ini lebih kompleks dan mahal, tetapi sangat berharga untuk memahami dinamika musiman populasi vektor, tren jangka panjang, dan dampak faktor iklim. Studi untuk menentukan wilayah reseptif malaria di Perbukitan Menoreh, misalnya, akan lebih kuat jika menggunakan data longitudinal yang mencakup musim hujan dan kemarau untuk melihat fluktuasi populasi *Anopheles* (Widartono, 2022).

Selain dimensi waktu, metode pemilihan sampel juga sangat menentukan. Sampling probabilitas, seperti *simple random sampling* (acak sederhana), *systematic sampling* (acak sistematis), atau *cluster sampling* (sampling klaster), memberikan setiap unit dalam populasi (misalnya, setiap rumah dalam sebuah kelurahan) kesempatan yang sama untuk terpilih. Metode ini menghasilkan data yang paling representatif dan memungkinkan generalisasi statistik ke populasi yang lebih luas. Di sisi lain, sampling non-probabilitas, seperti *purposive sampling* (sampling bertujuan) atau *convenience sampling* (sampling kemudahan), memilih sampel berdasarkan kriteria tertentu atau kemudahan akses. Misalnya, seorang peneliti sengaja memilih lokasi di dekat sungai dan rawa untuk mencari sarang perkembangbiakan *Anopheles*. Meskipun tidak representatif untuk seluruh area, desain ini efisien untuk tujuan spesifik seperti konfirmasi keberadaan vektor atau studi perilaku di habitat yang sudah diketahui.

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas, perbandingan antara beberapa desain survei entomologi disajikan pada tabel di bawah ini.

Tabel 6.1 Perbandingan Desain Survei Entomologi Populer

Aspek	Desain Cross-sectional	Desain Longitudinal	Desain Sentinel
Tujuan Utama	Mendapatkan gambaran sesaat (prevalensi, kepadatan) pada satu waktu.	Mempelajari perubahan/dinamika populasi vektor dari waktu ke waktu.	Memantau tren di lokasi-lokasi "penjaga" yang dianggap mewakili area lebih luas.
Waktu	Satu kali atau	Berulang pada unit	Berulang

Pengambilan Data	periodik (tidak pada sampel yang sama persis).	sampel yang sama dalam interval waktu tertentu.	pada lokasi tetap yang sama (sentinel site) dalam interval waktu tertentu.
Kelebihan	Cepat, relatif murah, sederhana untuk diimplementasikan.	Dapat mengidentifikasi tren musiman, mengukur insidensi, dan hubungan sebab-akibat.	Efisien secara sumber daya, memberikan data tren yang konsisten, baik untuk sistem peringatan dini.
Keterbatasan	Tidak dapat menunjukkan tren atau hubungan sebab-akibat.	Mahal, memakan waktu, risiko <i>drop-out</i> sampel (misalnya, rumah pindah).	Data tidak dapat digeneralisasi ke seluruh populasi; pemilihan lokasi sentinel sangat krusial.
Contoh Aplikasi di Indonesia	Survei cepat ABJ di 100 rumah pasca-KLB DBD di suatu kecamatan.	Pemantauan bulanan kepadatan larva <i>Anopheles</i> di sawah yang sama di Kulon Progo selama 2 tahun.	Pemantauan ovitrap mingguan di 5 Puskesmas, 2 sekolah, dan 1 pasar di Kota Surabaya.

Tabel di atas menunjukkan bahwa tidak ada satu desain pun yang superior dalam segala situasi. Pemilihan desain yang paling sesuai harus didasarkan pada pertanyaan penelitian atau tujuan program yang spesifik.

CONTOH

Untuk mengevaluasi efektivitas program larvasidasi di Kota Kendari, seorang sanitarian dapat merancang survei *quasi-eksperimental* dengan desain *pre-test* dan *post-test*. Sebelum program dimulai, ia melakukan survei *cross-sectional* untuk mengukur indeks larva awal (misalnya, HI, CI, BI) di area intervensi dan area kontrol. Setelah program berjalan selama 3 bulan, survei yang sama diulang di kedua area. Perbandingan perubahan indeks larva antara area intervensi dan kontrol dapat digunakan untuk menilai dampak program. Desain ini lebih kuat daripada sekadar survei *post-test* karena memperhitungkan kondisi awal.

E. Metode Sampling Larva dan Pupa

Pengendalian vektor pada stadium pralewasa (telur, larva, dan pupa) seringkali lebih efektif dan efisien daripada menargetkan stadium dewasa yang sudah terbang dan menyebar. Oleh karena itu, sampling larva dan pupa merupakan kegiatan inti dalam surveilans entomologi, terutama untuk vektor seperti *Aedes aegypti* yang tempat perkembangbiakannya terbatas dan mudah diakses. Metode sampling ini bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan tempat perkembangbiakan (*breeding sites*), memperkirakan kepadatan populasi pralewasa, dan menghitung indeks-indeks entomologi yang akan dibahas pada Bab 7. Pemilihan metode yang tepat bergantung pada jenis vektor, tipe habitat, dan tujuan survei.

Metode yang paling dasar dan umum dilakukan di Indonesia, terutama dalam konteks program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN), adalah **survei visual**. Dalam metode ini, petugas (misalnya, kader Jumantik) memeriksa semua wadah air potensial di dalam dan di sekitar rumah untuk melihat ada atau tidaknya jentik (larva) secara visual. Metode ini cepat, tidak memerlukan peralatan canggih, dan efektif untuk tujuan kualitatif, yaitu menentukan apakah sebuah rumah "positif jentik" atau "bebas jentik" guna menghitung Angka Bebas Jentik (ABJ). Namun, metode ini memiliki keterbatasan: sangat subjektif, bergantung pada ketelitian petugas, dan tidak dapat digunakan untuk memperkirakan kepadatan absolut larva. Perilaku masyarakat yang baik dalam mencegah DBD sangat mendukung keberhasilan metode ini (Sulidah, 2021).

Untuk mendapatkan data yang lebih kuantitatif, metode **single larva survey** dapat diterapkan. Dalam metode ini, dari setiap wadah air yang ditemukan positif jentik, hanya satu larva (biasanya stadium III atau IV yang paling mudah diidentifikasi) yang diambil untuk diidentifikasi spesiesnya di laboratorium. Metode ini merupakan kompromi yang baik antara kecepatan dan kebutuhan data spesies. Ini sangat berguna di area di mana beberapa spesies *Aedes* (misalnya, *Ae. aegypti* dan *Ae. albopictus*) hidup bersama, untuk menentukan

kontribusi relatif masing-masing spesies sebagai vektor. Identifikasi larva nyamuk yang akurat di tempat-tempat penampungan air, seperti yang dilakukan di rumah sakit di Kendari, sangat penting untuk menentukan target pengendalian yang spesifik (Muhammad, 2022).

Ketika tujuan survei adalah untuk memperkirakan kepadatan absolut larva, metode yang lebih sistematis seperti **dipping** atau **pipetting** digunakan. Metode *dipping* menggunakan gayung atau cidukan standar (biasanya berkapasitas 300-400 ml) untuk mengambil sampel air dari habitat yang luas seperti kolam, rawa, atau sawah. Jumlah larva yang tertangkap per cidukan (larva per *dip*) dihitung dan dapat digunakan sebagai indeks kepadatan relatif. Untuk wadah yang lebih kecil seperti tempayan, bak mandi, atau ban bekas, **pipet berukuran besar** lebih cocok digunakan. Seluruh isi wadah dapat disaring atau beberapa sampel dapat diambil dengan pipet untuk dihitung jumlah total larvanya. Data kepadatan ini krusial untuk mengevaluasi efektivitas larvasida, seperti uji efektivitas ekstrak daun pepaya terhadap mortalitas larva *Aedes aegypti* (Dhenge, 2021).

PERHATIAN

Sampling pupa seringkali diabaikan, padahal memiliki nilai strategis. Pupa adalah stadium pralewasa terakhir sebelum menjadi nyamuk dewasa, sehingga kepadatan pupa memiliki korelasi yang lebih kuat dengan produksi nyamuk dewasa dan risiko penularan dibandingkan kepadatan larva. Metode sampling pupa mirip dengan larva, namun memerlukan ketelitian lebih karena pupa lebih aktif dan sulit ditangkap. Survei pupa sangat direkomendasikan untuk evaluasi dampak intervensi jangka pendek yang menargetkan produktivitas vektor.

Sebagai ilustrasi, dalam survei DBD di suatu permukiman, tim surveilans akan melakukan pemeriksaan visual di semua rumah sampel. Jika sebuah bak mandi ditemukan berisi air, petugas akan menyenter permukaan air. Jika terlihat ada jentik, rumah tersebut dicatat sebagai "positif". Selanjutnya, dengan menggunakan pipet, petugas akan mengambil beberapa ekor larva dan pupa untuk dimasukkan ke dalam botol sampel beralkohol 70% untuk identifikasi spesies di laboratorium. Data yang terkumpul akan mencakup: jumlah rumah yang diperiksa, jumlah rumah positif jentik, jumlah total kontainer yang diperiksa, dan jumlah kontainer positif jentik berdasarkan jenisnya (bak mandi, tempayan, dll).

F. Metode Sampling Nyamuk Dewasa

Sampling nyamuk dewasa merupakan komponen krusial dalam surveilans entomologi karena secara langsung mengukur populasi yang bertanggung jawab atas penularan penyakit. Berbeda dengan stadium pralewasa yang statis,

nyamuk dewasa bersifat mobil dan memiliki perilaku yang kompleks (mencari makan, istirahat, dan bertelur), sehingga metode samplingnya pun lebih bervariasi. Tujuan dari sampling dewasa adalah untuk menentukan komposisi spesies, kepadatan relatif atau absolut, distribusi umur fisiologis (parous/nulliparous), status infeksi (apakah membawa agen penyakit), serta preferensi inang dan perilaku menggigit. Data ini sangat penting untuk menilai risiko transmisi secara langsung dan merancang strategi pengendalian yang tepat sasaran, seperti waktu dan lokasi penyemprotan insektisida.

Metode sampling nyamuk dewasa dapat dikategorikan menjadi dua kelompok besar: metode yang menargetkan nyamuk yang aktif mencari inang (host-seeking) dan metode yang menargetkan nyamuk yang sedang istirahat (resting). Metode yang paling terkenal untuk menangkap nyamuk yang aktif mencari inang adalah **Human Landing Catch (HLC)** atau Penangkapan Umpan Orang. Dalam metode ini, seorang kolektor terlatih duduk dengan tungkai bawah terbuka, dan menggunakan aspirator atau tabung kecil untuk menangkap nyamuk yang mendarat di kulitnya sebelum sempat menggigit. HLC dianggap sebagai "standar emas" untuk mengukur kepadatan nyamuk yang kontak dengan manusia (*Man Biting Rate*), namun memiliki isu etis yang signifikan karena paparan terhadap gigitan nyamuk berisiko. Oleh karena itu, pelaksanaannya harus mengikuti protokol yang ketat, termasuk seleksi kolektor yang sehat, pemberian profilaksis jika diperlukan (misalnya untuk malaria), dan pengawasan medis.

Sebagai alternatif HLC yang lebih aman, berbagai jenis perangkap berumpan dikembangkan, seperti **perangkap berumpan hewan** (misalnya, kerbau atau sapi dalam kandang jaring) atau penggunaan atraktan kimia seperti karbon dioksida (CO₂) yang dilepaskan dari *dry ice* atau hasil fermentasi. Perangkap ini berguna untuk mempelajari preferensi inang vektor (apakah lebih suka manusia atau hewan) dan dapat menangkap sejumlah besar nyamuk tanpa membahayakan manusia. Pembaruan informasi taksonomi dan kunci identifikasi fotografis untuk nyamuk betina dewasa yang tertangkap sangat penting untuk memastikan akurasi data surveilans di Indonesia, mengingat tingginya keanekaragaman spesies (Nugroho, 2021).

Metode kedua menargetkan nyamuk yang sedang dalam kondisi istirahat, baik di dalam rumah (*endofilik*) maupun di luar rumah (*eksofilik*). **Koleksi nyamuk istirahat dalam ruangan** (*indoor resting collection*) dilakukan dengan menggunakan aspirator (mekanis atau mulut) untuk menyedot nyamuk yang hinggap di dinding, langit-langit, furnitur, atau di balik gorden. Metode ini sangat efektif untuk menangkap vektor endofilik seperti *Anopheles* tertentu dan *Aedes aegypti*. Waktu koleksi biasanya dilakukan pada pagi hari ketika nyamuk telah selesai mencari makan dan sedang beristirahat sambil mencerna darah. **Koleksi**

nyamuk istirahat di luar ruangan (*outdoor resting collection*) lebih menantang karena habitatnya lebih bervariasi, seperti di liang tanah, vegetasi, atau kandang ternak. Selain aspirator, metode *pit shelter* (lubang perlindungan buatan) juga dapat digunakan untuk menarik nyamuk yang mencari tempat istirahat yang sejuk dan lembab.

CONTOH

Untuk memahami perilaku penularan malaria di sebuah desa endemis di Papua, tim entomologi dapat mengkombinasikan beberapa metode. Mereka melakukan HLC dari jam 18.00 hingga 06.00 baik di dalam maupun di luar rumah untuk menentukan puncak aktivitas menggigit dan preferensi lokasi (*endofagik* vs. *eksofagik*). Secara bersamaan, mereka memasang perangkap berumpan kerbau di dekat desa untuk mengetahui tingkat *zoophily*. Pada pagi harinya, tim melakukan koleksi nyamuk istirahat dengan aspirator di dalam rumah-rumah warga untuk menangkap nyamuk yang sudah kenyang darah. Nyamuk yang tertangkap kemudian diidentifikasi spesiesnya dan darah dalam perutnya dianalisis untuk menentukan sumber inangnya (manusia atau hewan).

G. Alat Surveilans (ovitrap, light trap, aspirator)

Keberhasilan metode sampling yang telah dibahas sebelumnya sangat bergantung pada penggunaan alat surveilans yang tepat. Setiap alat memiliki prinsip kerja, target, serta kelebihan dan keterbatasan yang spesifik. Pemahaman yang baik tentang cara kerja dan aplikasi dari masing-masing alat adalah kompetensi dasar bagi seorang entomolog kesehatan. Tiga alat yang paling fundamental dan umum digunakan dalam program surveilans di Indonesia adalah *ovitrap*, *light trap*, dan aspirator. Ketiga alat ini menargetkan fase dan perilaku yang berbeda dari siklus hidup nyamuk, sehingga seringkali digunakan secara komplementer untuk mendapatkan gambaran populasi vektor yang komprehensif.

Ovitrap (singkatan dari *oviposition trap* atau perangkap telur) adalah alat sederhana yang dirancang untuk menarik nyamuk betina meletakkan telurnya. Alat ini biasanya berupa wadah kecil berwarna gelap (misalnya, kaleng atau pot plastik hitam) yang diisi air dan diberi substrat untuk peletakan telur, seperti kain kasa, kertas saring, atau bilah kayu (*paddle*). Ovitrap sangat efektif untuk memantau populasi nyamuk *Aedes* (terutama *Ae. aegypti* dan *Ae. albopictus*) yang memiliki preferensi bertelur di wadah-wadah kecil. Setelah dipasang selama periode tertentu (biasanya satu minggu), *paddle* atau substrat lainnya diambil dan diperiksa di laboratorium untuk menghitung jumlah telur. Data yang dihasilkan adalah *Ovitrap Index* (% ovitrap positif telur) dan kepadatan telur rata-rata per perangkap. Keunggulan ovitrap adalah biayanya yang murah,

mudah dibuat dan dioperasikan oleh kader, serta sangat sensitif untuk mendeteksi keberadaan *Aedes* bahkan pada kepadatan rendah. Di banyak kota di Indonesia, Puskesmas menggunakan jaringan ovitrap yang tersebar di wilayah kerjanya sebagai sistem peringatan dini DBD.

Light Trap (perangkap cahaya) adalah alat yang digunakan untuk menangkap nyamuk dewasa yang aktif pada malam hari (*nokturnal*) dan tertarik pada cahaya (*fototaksis positif*). Model yang paling terkenal adalah *CDC light trap*, yang terdiri dari sumber cahaya (bohlam kecil), kipas bertenaga baterai, dan kantong jaring penampung. Nyamuk yang mendekati cahaya akan terhisap oleh kipas ke dalam kantong jaring. Beberapa model dimodifikasi dengan menambahkan umpan CO₂ (dari *dry ice* atau fermentasi) untuk meningkatkan daya tariknya secara signifikan. *Light trap* sangat efektif untuk sampling vektor malaria (*Anopheles*), filariasis (*Culex*), dan Japanese Encephalitis (*Culex*). Penempatan perangkat ini krusial; pemasangan di dekat kandang ternak akan menangkap spesies *zoofilik*, sementara pemasangan di beranda rumah akan menangkap spesies yang lebih *antropofilik*.



Gambar 6.1 Skema Komponen Utama Perangkap Cahaya (CDC Light Trap)

Gambar di atas menunjukkan komponen-komponen esensial dari CDC Light Trap. Prinsip kerjanya yang mengandalkan atraksi cahaya dan hisapan kipas membuatnya menjadi alat standar untuk survei nyamuk nokturnal di seluruh dunia.

Aspirator adalah alat yang paling serbaguna untuk mengumpulkan nyamuk dewasa secara manual. Alat ini pada dasarnya adalah sebuah "penyedot nyamuk". Terdapat dua jenis utama: aspirator mulut (*mouth aspirator*) dan aspirator mekanis (*mechanical/battery-powered aspirator*). Aspirator mulut terdiri dari tabung dengan dua selang; satu selang diarahkan ke nyamuk dan satu lagi dihisap oleh mulut operator (dilengkapi saringan halus untuk mencegah nyamuk terhisap). Aspirator mekanis menggunakan kipas kecil bertenaga baterai untuk menciptakan daya hisap. Aspirator adalah alat utama untuk metode koleksi nyamuk istirahat (*resting collection*), baik di dalam maupun di luar ruangan. Dengan alat ini, operator dapat secara aktif mencari dan menyedot nyamuk yang hinggap di dinding, langit-langit, atau vegetasi. Efektivitasnya sangat bergantung pada keterampilan dan ketelitian operator. Penggunaan aspirator sangat penting untuk mengumpulkan nyamuk dalam kondisi hidup, misalnya untuk keperluan uji resistensi insektisida atau kolonisasi di laboratorium. Mengingat banyak senyawa alami yang diteliti sebagai larvasida (Yuliana, 2021), pengumpulan nyamuk hidup untuk pengujian juga menjadi aplikasi penting dari aspirator.

H. Rangkuman

Surveilans entomologi merupakan siklus intelijen kesehatan masyarakat yang sistematis dan berkelanjutan, berfungsi sebagai tulang punggung program pengendalian vektor berbasis bukti. Berbeda fundamental dari survei sesaat yang hanya memberikan gambaran statis, surveilans secara aktif mengumpulkan, menganalisis, menginterpretasi, dan mendiseminasikan data vektor untuk memandu tindakan proaktif. Konsep ini memiliki empat fungsi strategis utama. Pertama, sebagai sistem peringatan dini untuk deteksi dan prediksi risiko wabah, seperti pemantauan indeks ovitrap mingguan untuk DBD. Kedua, untuk perencanaan dan penargetan intervensi yang efisien, memungkinkan alokasi sumber daya pada area, waktu, dan perilaku vektor paling krusial, sebagaimana pemetaan sarang *Anopheles* untuk program eliminasi malaria. Ketiga, sebagai alat monitoring dan evaluasi untuk mengukur efektivitas program, dengan menyediakan data dasar sebelum dan data pemantauan setelah intervensi seperti *fogging* atau PSN. Keempat, untuk mendeteksi resistensi insektisida, yang krusial dalam memandu kebijakan penggunaan dan rotasi insektisida. Keberhasilan surveilans sangat bergantung pada desain yang tepat, yang dibedakan berdasarkan dimensi waktu dan metode sampling. Desain *cross-sectional* (potong lintang) memberikan gambaran sesaat

yang cepat dan murah, cocok untuk penilaian periodik. Sebaliknya, desain *longitudinal* yang memantau sampel yang sama dari waktu ke waktu, meskipun lebih kompleks, sangat vital untuk memahami dinamika musiman dan tren jangka panjang. Pemilihan antara sampling probabilitas yang representatif dan sampling non-probabilitas yang bertujuan harus selaras dengan tujuan spesifik surveilans. Pada akhirnya, integrasi data vektor, lingkungan, dan kesehatan manusia melalui siklus surveilans yang solid inilah yang membedakan program pengendalian vektor reaktif dari program yang proaktif, adaptif, dan mampu mencegah wabah sebelum terjadi.

I. Latihan Mahasiswa

a. Essay

1. Argumentasikan mengapa surveilans entomologi secara konseptual berbeda dari serangkaian survei vektor yang dilakukan secara berulang. Gunakan analogi "sistem peringatan dini" dan "siklus intelijen" untuk memperkuat analisis Anda mengenai perbedaan dalam tujuan, proses, dan hasil akhir dari kedua pendekatan tersebut.
2. Bandingkan dan kontraskan penggunaan desain survei *cross-sectional* dengan desain *longitudinal* untuk tujuan mengevaluasi efektivitas program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) 3M Plus di sebuah kota endemis DBD. Telaah kelebihan dan keterbatasan masing-masing desain dalam memberikan bukti yang valid bagi pengambil keputusan.
3. Sebuah wilayah yang telah dinyatakan bebas malaria selama 10 tahun melaporkan temuan kembali vektor *Anopheles* di dekat area permukiman baru yang berbatasan dengan hutan. Rumuskan tujuan utama surveilans entomologi yang harus segera diimplementasikan dan justifikasi pilihan desain survei (waktu dan sampling) yang paling tepat untuk merespons situasi tersebut.
4. Telaah potensi bias dan konsekuensi pengambilan keputusan yang keliru jika seorang manajer program kesehatan masyarakat hanya mengandalkan data dari *convenience sampling* (misalnya, hanya memeriksa jentik di sekolah dan kantor yang mudah diakses) untuk mengklaim keberhasilan program pengendalian vektor *Aedes aegypti* di tingkat kabupaten/kota.
5. Evaluasi pernyataan: "Tanpa surveilans entomologi yang efektif, program pengendalian vektor seperti *fogging* dan distribusi kelambu berinsektisida hanya menghabiskan sumber daya tanpa dampak yang terukur." Gunakan empat fungsi strategis surveilans (deteksi, perencanaan, evaluasi, deteksi resistensi) sebagai kerangka untuk membangun argumen Anda.

b. Pilihan Berganda

1. Apa perbedaan fundamental antara surveilans entomologi dan survei entomologi sesaat (*snapshot*)?
 - a. Surveilans menggunakan metode sampling yang lebih canggih daripada survei.
 - b. Surveilans merupakan proses berkelanjutan yang mencakup analisis dan tindakan, sedangkan survei hanya pengumpulan data pada satu waktu.
 - c. Survei hanya dilakukan untuk nyamuk, sedangkan surveilans mencakup semua jenis vektor.
 - d. Surveilans hanya fokus pada kepadatan vektor, sementara survei fokus pada perilaku vektor.
2. Dinas Kesehatan Kota Surabaya ingin memfokuskan program *fogging* hanya pada RW dengan kepadatan *Aedes aegypti* tertinggi menjelang musim hujan. Fungsi strategis surveilans manakah yang paling relevan dengan kegiatan ini?
 - a. Deteksi dini dan prediksi risiko
 - b. Perencanaan dan penargetan intervensi
 - c. Monitoring dan evaluasi program
 - d. Deteksi resistensi insektisida
3. Sebuah studi yang memantau populasi jentik di 20 ovitrap yang sama yang dipasang di lokasi-lokasi strategis setiap minggu selama setahun penuh adalah contoh dari desain survei...
 - a. Cross-sectional
 - b. Convenience sampling
 - c. Longitudinal
 - d. Purposive sampling
4. Tujuan utama dari desain survei *cross-sectional* adalah untuk...
 - a. Memahami dinamika musiman populasi vektor.
 - b. Mendapatkan gambaran sesaat mengenai prevalensi atau kepadatan vektor pada satu titik waktu.
 - c. Mengukur efektivitas intervensi dalam jangka panjang pada sampel yang sama.
 - d. Mengidentifikasi tren perubahan populasi vektor dari tahun ke tahun.
5. Seorang peneliti ingin mengetahui Angka Bebas Jentik (ABJ) yang dapat mewakili seluruh kelurahan. Ia mengambil data 100 rumah yang dipilih secara acak dari daftar seluruh rumah di kelurahan tersebut. Metode sampling yang ia gunakan adalah...
 - a. Sampling bertujuan (*purposive*)

- b. Sampling kemudahan (convenience)
 - c. Sampling probabilitas (probability)
 - d. Sampling non-probabilitas (non-probability)
6. Manakah dari berikut ini yang merupakan tujuan utama dari fungsi "monitoring dan evaluasi program" dalam surveilans entomologi?
- a. Mengidentifikasi lokasi baru penyebaran vektor.
 - b. Memprediksi kapan wabah akan terjadi berdasarkan data iklim.
 - c. Mengukur apakah program PSN berhasil meningkatkan Angka Bebas Jentik (ABJ).
 - d. Menentukan apakah insektisida yang digunakan masih efektif atau sudah terjadi resistensi.
7. Konsep surveilans sebagai "siklus intelijen" menekankan bahwa...
- a. Data yang dikumpulkan harus dirahasiakan dari publik.
 - b. Pengumpulan data adalah tahap terpenting dan paling akhir.
 - c. Data harus dianalisis dan diinterpretasi untuk memandu tindakan, yang kemudian dievaluasi kembali.
 - d. Surveilans hanya boleh dilakukan oleh personel dengan tingkat intelijensia tinggi.
8. Seorang entomolog secara sengaja hanya mengambil sampel nyamuk di area rawa dan tepi sungai untuk memastikan keberadaan spesies *Anopheles* di suatu desa. Desain sampling yang paling tepat untuk menggambarkan kegiatan ini adalah...
- a. Simple random sampling
 - b. Systematic sampling
 - c. Cluster sampling
 - d. Purposive sampling
9. Fungsi surveilans sebagai "sistem peringatan dini" paling baik diilustrasikan oleh kegiatan...
- a. Mengukur kepadatan nyamuk setelah dilakukan *fogging*.
 - b. Memetakan lokasi sarang perkembangbiakan untuk penyemprotan.
 - c. Memantau indeks ovitrap mingguan untuk mendeteksi peningkatan populasi *Aedes*.
 - d. Menguji kerentanan nyamuk terhadap insektisida di laboratorium.
10. Desain surveilans sentinel memiliki kelebihan dalam hal efisiensi sumber daya karena...
- a. Menggunakan metode sampling yang paling murah dan cepat.
 - b. Hanya dilakukan satu kali dalam setahun.
 - c. Memantau tren secara berulang hanya di beberapa lokasi tetap yang dianggap representatif.
 - d. Tidak memerlukan analisis data yang rumit.

c. Soal Project / Studi Kasus

1. Kabupaten X, sebuah daerah endemis Demam Berdarah Dengue (DBD), baru saja mengalami lonjakan kasus tertinggi dalam lima tahun terakhir. Anggaran Dinas Kesehatan untuk tahun depan sangat terbatas. Sebagai kepala seksi Pengendalian Penyakit Tular Vektor, Anda ditugaskan untuk merancang program surveilans entomologi yang efisien namun efektif untuk mencegah kejadian serupa. Program harus mampu memberikan peringatan dini dan membantu mengevaluasi efektivitas gerakan PSN yang akan digalakkan.

Instruksi: Rumuskan sebuah proposal desain surveilans entomologi untuk Kabupaten X. Jelaskan jenis desain (misalnya, *cross-sectional*, *longitudinal*, *sentinel*), metode sampling yang akan digunakan untuk pemantauan rutin, dan justifikasi mengapa desain tersebut paling sesuai dengan kondisi keterbatasan sumber daya namun tetap memenuhi tujuan program.

2. Di Kecamatan Y, program eliminasi malaria yang mengandalkan Penyemprotan Insektisida Residu (IRS) dan pembagian kelambu berinsektisida telah berjalan selama tiga tahun. Namun, data surveilans menunjukkan bahwa meskipun cakupan intervensi tinggi, kepadatan populasi nyamuk *Anopheles* dewasa di dalam dan di luar rumah tidak kunjung turun secara signifikan. Muncul dua dugaan utama: (1) telah terjadi resistensi insektisida, atau (2) adanya perubahan perilaku vektor (misalnya, lebih banyak menggigit di luar rumah atau pada jam-jam lebih awal saat orang belum tidur).

Instruksi: Rancang sebuah rencana investigasi berbasis surveilans entomologi untuk mendiagnosis akar masalah tersebut. Uraikan minimal tiga jenis data spesifik yang perlu Anda kumpulkan, metode pengumpulannya (misalnya, jenis perangkat, waktu pengumpulan), dan bagaimana setiap data tersebut akan membantu Anda membedakan antara hipotesis resistensi dan hipotesis perubahan perilaku.

BAB 7

INDEKS ENTOMOLOGI

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah menyelesaikan pembahasan pada bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menghitung nilai House Index (HI), Container Index (CI), Breteau Index (BI), dan Angka Bebas Jentik (ABJ) berdasarkan set data hasil survei jentik hipotetis di sebuah wilayah endemis.
2. Menentukan tingkat risiko penularan Demam Berdarah Dengue (DBD) di suatu area berdasarkan interpretasi standar WHO terhadap nilai HI, CI, dan BI yang telah dihitung.
3. Memilih jenis indeks entomologi (larva atau ovitrap) yang paling tepat untuk digunakan dalam program surveilans pada dua skenario kasus yang berbeda: satu di kawasan perumahan padat penduduk dan satu lagi di kawasan perkantoran vertikal.
4. Menjelaskan konsep dasar, kelebihan, dan keterbatasan dari setiap jenis indeks entomologi utama (HI, CI, BI, ABJ, Ovitrap Index) dalam konteks program pengendalian vektor di Indonesia.
5. Mengimplementasikan prosedur standar untuk merancang sebuah survei jentik sederhana, mulai dari penentuan sampel rumah hingga persiapan formulir pencatatan data yang diperlukan untuk kalkulasi indeks.

B. Pengantar

Seorang kepala puskesmas di sebuah kecamatan padat penduduk di Kota Surabaya dihadapkan pada sebuah dilema. Laporan kasus Demam Berdarah Dengue (DBD) mulai meningkat memasuki musim penghujan, dan tekanan dari masyarakat untuk segera melakukan pengasapan (fogging) semakin kuat. Namun, anggaran operasional terbatas dan data yang dimiliki hanya berupa jumlah kasus klinis. Keputusan yang didasarkan hanya pada kepanikan atau laporan anekdotal "banyak nyamuk" seringkali tidak efektif dan merupakan pemborosan sumber daya. Pertanyaan fundamental yang harus dijawab oleh seorang profesional kesehatan masyarakat bukanlah "Apakah ada nyamuk?", melainkan "Seberapa besar populasi vektor di lokasi spesifik?", "Di mana titik-titik kritis perkembangbiakannya?", dan "Bagaimana kita dapat mengukur risiko penularan secara objektif untuk memprioritaskan intervensi?". Bab ini akan membekali Anda dengan perangkat kuantitatif untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut melalui pemahaman dan penerapan indeks entomologi, sebuah pilar fundamental dalam surveilans dan pengendalian vektor.

Indeks entomologi berfungsi sebagai "penerjemah" dari temuan biologis di lapangan menjadi angka-angka standar yang memiliki makna epidemiologis. Tanpa metrik ini, program pengendalian vektor akan berjalan dalam kegelapan. **Konsep** dasarnya adalah standardisasi pengukuran untuk memungkinkan perbandingan, baik perbandingan antarwilayah maupun perbandingan sebelum dan sesudah intervensi. Sebagai **contoh**, bayangkan sebuah program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) di Kabupaten Bantul, Yogyakarta. Sebelum program, survei menunjukkan nilai *House Index* (HI) sebesar 30%, artinya 30 dari setiap 100 rumah yang diperiksa ditemukan jentik *Aedes aegypti*. Setelah tiga bulan intervensi penguatan kader Juru Pemantau Jentik (Jumantik), survei ulang menunjukkan HI turun menjadi 8%. **Implikasinya**, angka-angka ini memberikan bukti kuantitatif yang kuat bahwa intervensi tersebut berhasil menekan keberadaan vektor di tingkat rumah tangga. Angka ini jauh lebih persuasif dalam laporan pertanggungjawaban daripada sekadar pernyataan kualitatif "program berjalan dengan baik". Lebih jauh, pemahaman mendalam mengenai perbedaan antar-indeks memungkinkan analisis yang lebih tajam. Nilai *Container Index* (CI) yang tinggi di sebuah area industri di Cikarang mungkin menunjuk pada masalah di drum-drum penampungan air bekas, sedangkan nilai *Breteau Index* (BI) yang tinggi di pemukiman kumuh di Jakarta Utara mungkin menunjuk pada masalah beragamnya jenis kontainer kecil yang terabaikan di sekitar rumah.

Oleh karena itu, penguasaan indeks entomologi bukan sekadar kemampuan teknis menghitung, melainkan sebuah kompetensi inti dalam manajemen program kesehatan masyarakat berbasis bukti (*evidence-based public health*). Bab ini akan memandu Anda secara sistematis untuk menguasai perangkat esensial tersebut. Pembahasan akan diawali dengan identifikasi dan pembedaan jenis-jenis indeks larva yang paling umum digunakan, yaitu *House Index* (HI), *Container Index* (CI), *Breteau Index* (BI), serta Angka Bebas Jentik (ABJ) yang populer dalam program di Indonesia. Selanjutnya, kita akan memperluas cakrawala dengan mempelajari indikator lain seperti *Ovitrap Index* untuk memantau aktivitas nyamuk dewasa. Bagian paling krusial dari bab ini akan melatih Anda dalam melakukan perhitungan setiap indeks secara akurat dan, yang terpenting, menerapkan pengetahuan tersebut untuk menginterpretasikan angka-angka menjadi sebuah analisis tingkat risiko yang dapat dipertanggungjawabkan sebagai dasar rekomendasi intervensi yang tepat sasaran.

C. Jenis Indeks Entomologi (HI, CI, BI, ABJ)

Setelah melakukan survei lapangan sebagaimana diuraikan pada Bab 6, data mentah yang terkumpul perlu diolah menjadi indikator standar yang dapat diukur dan dibandingkan. Indeks entomologi larva merupakan perangkat paling

fundamental dalam surveilans vektor, khususnya untuk nyamuk *Aedes aegypti*, vektor utama Demam Berdarah Dengue (DBD). Terdapat beberapa indeks klasik yang telah digunakan secara luas di seluruh dunia, termasuk di Indonesia, yang masing-masing memberikan perspektif unik terhadap sebaran dan kepadatan populasi pra-dewasa vektor. Pemahaman mendalam mengenai perbedaan, kelebihan, dan kekurangan setiap indeks adalah kompetensi esensial bagi seorang sanitarian atau epidemiolog.

Empat indeks larva yang paling umum digunakan adalah *House Index* (HI), *Container Index* (CI), *Breteau Index* (BI), dan Angka Bebas Jentik (ABJ). Ketiga indeks pertama merupakan standar yang direkomendasikan oleh WHO, sementara ABJ adalah metrik yang sangat populer dan menjadi target kinerja utama dalam program pengendalian DBD di Indonesia (Leri, 2021).

DEFINISI

House Index (HI): *Persentase rumah yang ditemukan jentik nyamuk dari total rumah yang diperiksa di suatu wilayah. Indeks ini mengukur **sebaran** keberadaan vektor di tingkat rumah tangga, namun tidak menggambarkan intensitas perkembangbiakan di dalam rumah positif tersebut.*

Container Index (CI): *Persentase wadah atau kontainer air yang ditemukan jentik dari total kontainer yang diperiksa. Indeks ini memberikan gambaran tentang **produktivitas** jenis-jenis kontainer tertentu sebagai tempat perindukan.*

Breteau Index (BI): *Jumlah kontainer positif jentik per 100 rumah yang diperiksa. BI dianggap sebagai indikator paling representatif karena mengombinasikan elemen sebaran (rumah) dan kepadatan (jumlah kontainer positif). Indeks ini secara langsung mengukur **densitas** tempat perindukan di suatu area.*

Angka Bebas Jentik (ABJ): *Persentase rumah yang **tidak** ditemukan jentik dari total rumah yang diperiksa. Secara matematis, ABJ adalah $100\% - HI$. Indeks ini digunakan di Indonesia sebagai target operasional yang mudah dipahami oleh masyarakat dan kader Juru Pemantau Jentik (Jumantik).*

Sebagai ilustrasi, mari kita bayangkan sebuah survei di Kelurahan Krobokan, Kota Semarang. Tim Puskesmas memeriksa 100 rumah. Hasilnya: 20 rumah ditemukan memiliki jentik. Di 20 rumah tersebut, total ada 30 kontainer positif dari keseluruhan 500 kontainer yang diperiksa di 100 rumah. Maka, HI-nya adalah 20%, CI-nya 6%, dan BI-nya 30. Sementara itu, ABJ-nya adalah 80%. Nilai HI sebesar 20% menunjukkan bahwa vektor tersebar di satu dari lima rumah, sedangkan nilai BI 30 menunjukkan adanya 30 sumber jentik aktif untuk setiap 100 rumah di area tersebut. Informasi ini krusial untuk evaluasi program. Jika pada bulan sebelumnya HI adalah 40%, maka penurunan menjadi 20%

menunjukkan keberhasilan intervensi dalam mengurangi sebaran vektor di tingkat rumah tangga. Penggunaan indeks ini memungkinkan evaluasi yang terukur terhadap efektivitas program pengendalian, seperti yang ditekankan dalam berbagai pendekatan manajemen kualitas (Qonita, 2022). Identifikasi larva di berbagai jenis tempat penampungan air, seperti yang dilakukan dalam studi di rumah sakit, merupakan langkah awal yang krusial sebelum perhitungan indeks-indeks ini (Muhammad, 2022).

D. Ovitrap Index dan Indikator lain

Indeks berbasis larva seperti HI, CI, dan BI memberikan informasi berharga mengenai lokasi dan kepadatan tempat perindukan, yang menjadi dasar bagi kegiatan pemberantasan sarang nyamuk (*source reduction*). Namun, indeks-indeks ini memiliki keterbatasan: mereka tidak secara langsung mengukur populasi nyamuk dewasa yang aktif menggigit dan menularkan penyakit. Selain itu, survei jentik bisa jadi sangat padat karya dan terkadang sulit dilakukan di area-area tertentu, seperti gedung perkantoran atau apartemen vertikal. Untuk melengkapi data larva, dikembangkanlah indikator lain yang berfokus pada aktivitas nyamuk dewasa, salah satunya yang paling populer dan efisien adalah *Ovitrap Index* (OI).

Ovitrap (singkatan dari *oviposition trap* atau perangkap telur) adalah sebuah alat sederhana yang dirancang untuk meniru tempat perindukan favorit nyamuk *Aedes*. Biasanya, ovitrap terdiri dari wadah berwarna gelap (misalnya, kaleng atau botol plastik hitam) berisi air dan sebilah papan kayu (papan dayung/paddle) yang permukaannya sedikit kasar. Nyamuk betina yang siap bertelur akan tertarik pada air di dalam ovitrap dan akan meletakkan telurnya pada permukaan papan dayung, tepat di atas garis air. Petugas kemudian akan mengumpulkan papan dayung ini secara berkala (misalnya, setiap minggu) untuk diperiksa di laboratorium.

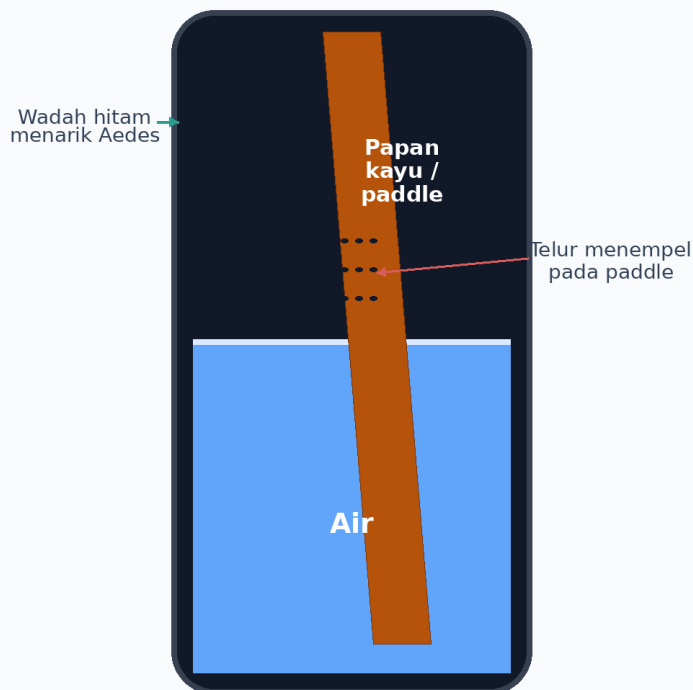
DEFINISI

Ovitrap Index (OI): Persentase ovitrap yang positif ditemukan telur nyamuk dari total ovitrap yang dipasang dan diambil kembali di suatu wilayah. OI berfungsi sebagai indikator proksi untuk keberadaan dan aktivitas oviposisi (bertelur) nyamuk betina dewasa.

Keunggulan utama ovitrap adalah sensitivitasnya yang tinggi. Ovitrap mampu mendeteksi keberadaan nyamuk *Aedes* bahkan pada tingkat kepadatan populasi yang sangat rendah, di mana survei larva mungkin tidak menemukan apa-apa. Ini menjadikannya alat yang sangat baik untuk surveilans di area yang telah berhasil menekan populasi vektor ke tingkat rendah atau untuk deteksi dini re-infestasi. Sebagai contoh, di kawasan pelabuhan internasional seperti Tanjung Perak di Surabaya, pemasangan ovitrap secara rutin dapat menjadi sistem

peringatan dini terhadap masuknya spesies nyamuk invasif. Selain OI, data dari ovitrap juga bisa dianalisis lebih lanjut, misalnya dengan menghitung **rerata jumlah telur per ovitrap positif**, yang memberikan gambaran lebih kuantitatif tentang intensitas aktivitas oviposisi. Perilaku hewan dalam memilih lokasi untuk bereproduksi adalah aspek fundamental yang dimanfaatkan dalam desain alat ini (Amrullah, 2021).

Ovitrap Standar



Digunakan untuk surveilans telur nyamuk *Aedes* sp.

Gambar 7.1 Skema Ovitrap Standar untuk Surveilans *Aedes* sp.

Gambar di atas mengilustrasikan komponen-komponen kunci dari ovitrap. Pemilihan warna gelap dan adanya air merupakan atraktan utama bagi nyamuk *Aedes* betina yang sedang mencari tempat untuk meletakkan telurnya.

Selain ovitrap, indikator lain yang semakin penting adalah **survei pupa**. Karena pupa adalah stadium terakhir sebelum menjadi nyamuk dewasa dan tidak lagi makan (sehingga mortalitas alaminya sangat rendah), jumlah pupa di suatu area dianggap sebagai proksi terbaik untuk jumlah nyamuk dewasa yang

akan segera muncul. Indikator seperti **jumlah pupa per hektar** atau **jumlah pupa per orang** dapat memberikan estimasi risiko penularan yang lebih akurat dibandingkan indeks larva. Namun, survei pupa jauh lebih sulit dan memakan waktu karena pupa cenderung lebih sulit ditemukan dan jumlahnya lebih sedikit dibandingkan larva.

E. Kepadatan Larva dan Dewasa

Pengukuran populasi vektor dapat dikategorikan menjadi dua pendekatan utama: pengukuran kepadatan stadium pra-dewasa (telur, larva, pupa) dan pengukuran kepadatan stadium dewasa. Keduanya memberikan informasi yang saling melengkapi dan penting untuk tujuan yang berbeda dalam program pengendalian vektor. Memahami perbedaan, kegunaan, dan metode pengukuran masing-masing adalah krusial untuk merancang strategi intervensi yang efektif.

Kepadatan larva, sebagaimana telah disinggung, paling sering diukur secara tidak langsung melalui indeks-indeks seperti HI, CI, dan BI. Indeks-indeks ini lebih bersifat kualitatif atau semi-kuantitatif; mereka mengukur **distribusi** dan **frekuensi** tempat perindukan, bukan jumlah absolut individu larva (Leri, 2021). Sebagai contoh, HI 10% di Kota Depok hanya memberi tahu kita bahwa 1 dari 10 rumah memiliki jentik, tetapi tidak memberi tahu apakah rumah positif itu memiliki 10 larva dalam satu wadah atau 1.000 larva tersebar di lima wadah. Untuk mendapatkan data yang lebih kuantitatif, peneliti dapat melakukan perhitungan lebih detail, seperti **jumlah larva per kontainer positif** atau **jumlah larva per rumah yang diperiksa**. Data kepadatan larva sangat vital untuk mengidentifikasi "kontainer produktif" utama di suatu komunitas—misalnya, apakah drum air, ban bekas, atau pot tanaman yang menjadi penyumbang terbesar populasi vektor—sehingga intervensi Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) dapat difokuskan pada target yang tepat.

Di sisi lain, pengukuran kepadatan nyamuk dewasa secara langsung berhubungan dengan risiko penularan. Nyamuk dewasalah yang menggigit manusia dan memindahkan agen penyakit. Beberapa metode standar untuk mengukur kepadatan dewasa telah dibahas pada Bab 6, dan hasilnya dapat dikuantifikasi menjadi beberapa metrik kunci:

1. **Man-Hour Density (MHD)** atau **Kepadatan per Jam Orang**: Jumlah nyamuk yang ditangkap (biasanya menggunakan aspirator) oleh satu orang kolektor dalam satu jam. Ini mengukur kepadatan nyamuk yang beristirahat di dalam atau di sekitar rumah.
2. **Man-Biting Rate (MBR)** atau **Tingkat Gigitan per Orang**: Jumlah gigitan yang diterima oleh satu orang umpan dalam periode waktu tertentu (misalnya, per malam). Metode ini, yang dikenal sebagai *Human Landing Catch* (HLC), memberikan data paling relevan secara epidemiologis tetapi menimbulkan isu etis.

3. Kepadatan per Perangkap: Jumlah nyamuk yang tertangkap per perangkap per malam, misalnya menggunakan *CDC Light Trap*. Ini adalah metode yang lebih aman dan terstandarisasi dibandingkan HLC.

Data kepadatan dewasa sangat penting untuk beberapa tujuan. Pertama, untuk mengukur risiko penularan secara langsung. Misalnya, dalam surveilans malaria di daerah endemis seperti Papua, data MBR *Anopheles* adalah komponen kunci untuk menghitung *vectorial capacity* dan memprediksi wabah (Utami, 2022). Kedua, untuk mengevaluasi efektivitas intervensi yang menargetkan nyamuk dewasa, seperti pengasapan (*fogging*) atau penyemprotan dinding rumah (*Indoor Residual Spraying / IRS*). Jika kepadatan nyamuk dewasa turun drastis setelah *fogging*, maka intervensi tersebut dianggap berhasil. Kelimpahan relatif suatu spesies vektor, mirip dengan studi ektoparasit pada unggas, adalah informasi dasar yang menentukan tingkat ancaman (Putranto, 2021). Di banyak wilayah perkotaan di Indonesia, pengukuran kepadatan dewasa jarang dilakukan secara rutin oleh puskesmas karena keterbatasan sumber daya dan teknis, sehingga survei jentik tetap menjadi andalan utama.

F. Perhitungan Indeks Entomologi

Kemampuan untuk menerapkan formula dan menghitung indeks entomologi secara akurat dari data mentah lapangan adalah keterampilan praktis yang harus dikuasai oleh setiap mahasiswa kesehatan masyarakat. Perhitungan ini mengubah observasi lapangan menjadi metrik standar yang dapat dianalisis dan ditindaklanjuti. Prosesnya sederhana namun membutuhkan ketelitian dalam pencatatan dan tabulasi data.

Tabel 7.1 Data Hipotetis Hasil Survei Jentik di Dusun Jombor, Sleman (n=150 rumah)

Variabel Survei	Jumlah
Jumlah rumah diperiksa	150
Jumlah rumah ditemukan jentik (positif)	30
Jumlah total kontainer diperiksa	850
Jumlah total kontainer positif jentik	45

Berdasarkan data pada tabel di atas, kita dapat menghitung empat indeks utama yang telah dibahas sebelumnya.

f FORMULA

House Index (HI) = $(\text{Jumlah rumah positif jentik} / \text{Jumlah rumah diperiksa}) \times 100\%$

Container Index (CI) = $(\text{Jumlah kontainer positif jentik} / \text{Jumlah kontainer diperiksa}) \times 100\%$

Breteau Index (BI) = $(\text{Jumlah kontainer positif jentik} / \text{Jumlah rumah diperiksa}) \times 100$

Angka Bebas Jentik (ABJ) = $(\text{Jumlah rumah negatif jentik} / \text{Jumlah rumah diperiksa}) \times 100\%$

Sekarang, mari kita terapkan formula tersebut pada data dari Dusun Jombor:

1. Perhitungan House Index (HI):

$$HI = (30 \text{ rumah positif} / 150 \text{ rumah diperiksa}) \times 100\% = 20\%$$

2. Perhitungan Container Index (CI):

$$CI = (45 \text{ kontainer positif} / 850 \text{ kontainer diperiksa}) \times 100\% = 5,3\%$$

3. Perhitungan Breteau Index (BI):

$$BI = (45 \text{ kontainer positif} / 150 \text{ rumah diperiksa}) \times 100 = 30$$

4. Perhitungan Angka Bebas Jentik (ABJ):

$$\begin{aligned} \text{Jumlah rumah negatif} &= 150 - 30 = 120 \text{ rumah} \\ \text{ABJ} &= (120 \text{ rumah negatif} / 150 \text{ rumah diperiksa}) \times 100\% = 80\% \end{aligned}$$

Atau secara sederhana, $ABJ = 100\% - HI = 100\% - 20\% = 80\%$.

Hasil perhitungan ini memberikan potret kuantitatif kondisi entomologis di Dusun Jombor. Angka-angka ini, yang diperoleh melalui prosedur standar, kini siap untuk diinterpretasikan lebih lanjut untuk menilai tingkat risiko dan merencanakan tindakan. Proses ini analog dengan pengendalian kualitas dalam industri, di mana data numerik digunakan untuk memonitor suatu proses dan mengidentifikasi penyimpangan dari standar yang ditetapkan (Merjani, 2021). Penggunaan indikator numerik ini merupakan pilar dalam program kesehatan masyarakat berbasis bukti (Leri, 2021).

G. Interpretasi Indeks dan Tingkat Risiko

Menghitung indeks entomologi hanyalah separuh dari pekerjaan. Langkah yang paling krusial adalah menerjemahkan angka-angka tersebut menjadi sebuah penilaian risiko yang dapat dimengerti dan ditindaklanjuti. Tanpa interpretasi yang tepat, HI sebesar 20% atau BI sebesar 30 hanyalah angka tanpa makna. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) telah mengembangkan parameter untuk menginterpretasikan nilai-nilai indeks larva *Aedes aegypti* dan mengklasifikasikannya ke dalam tingkat risiko penularan Demam Berdarah Dengue (DBD).

Parameter ini, meskipun bukan satu-satunya penentu (karena faktor lain seperti imunitas populasi dan keganasan virus juga berperan), berfungsi sebagai

panduan praktis bagi manajer program kesehatan. Dengan menggunakan nilai-nilai ini, pengelola program dapat menentukan apakah situasi di suatu wilayah masih terkendali, memerlukan kewaspadaan, atau sudah berada pada level berbahaya yang menuntut intervensi segera.

Tabel 7.2 Parameter Kepadatan Larva *Aedes aegypti* dan Tingkat Risiko Penularan DBD Menurut WHO

Indeks	Tingkat Risiko Rendah	Tingkat Risiko Sedang	Tingkat Risiko Tinggi
House Index (HI)	< 1%	1 - 5%	> 5%
Container Index (CI)	< 1%	1 - 3%	> 3%
Breteau Index (BI)	< 5	5 - 20	> 20

Tabel ini menyediakan ambang batas kuantitatif yang jelas untuk pengambilan keputusan. Angka-angka ini menjadi dasar dalam analisis risiko kesehatan masyarakat (Rosdiana, 2023).

- **HI = 20%:** Nilai ini jauh di atas ambang batas >5%, mengindikasikan **risiko tinggi**.
- **CI = 5,3%:** Nilai ini juga berada di atas ambang batas >3%, mengindikasikan **risiko tinggi**.
- **BI = 30:** Nilai ini secara signifikan melampaui ambang batas >20, yang sekali lagi mengonfirmasi **risiko tinggi** penularan DBD di wilayah tersebut.

CONTOH

Berdasarkan analisis ini, Kepala Puskesmas Melati I dapat menyimpulkan dengan justifikasi data yang kuat bahwa Dusun Jombor berada dalam kondisi siaga satu DBD. Rekomendasi tindakan tidak lagi didasarkan pada firasat, melainkan pada bukti entomologis. Tindakan yang harus segera dilakukan meliputi: (a) Peningkatan frekuensi dan intensitas gerakan Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) secara massal yang dikoordinir oleh kader, (b) Penyuluhan kesehatan yang lebih gencar kepada masyarakat untuk menguras, menutup, dan mendaur ulang (3M Plus), serta (c) mempertimbangkan pelaksanaan pengasapan (*fogging*) secara terfokus di area dengan kepadatan kasus dan vektor tertinggi sebagai tindakan pemutusan rantai penularan darurat.

Sementara itu, untuk **Angka Bebas Jentik (ABJ)**, program di Indonesia umumnya menetapkan target >95%. Hasil ABJ di Dusun Jombor sebesar 80% jelas berada di bawah target nasional. Ini merupakan indikator kinerja yang buruk bagi program pengendalian vektor di tingkat lokal dan menjadi sinyal bagi Dinas Kesehatan Kabupaten Sleman untuk melakukan evaluasi dan supervisi ke puskesmas dan masyarakat setempat. Kegagalan mencapai target ini menunjukkan adanya partisipasi masyarakat yang belum optimal atau strategi yang kurang efektif (Leri, 2021). Dengan demikian, interpretasi indeks secara komprehensif mengubah data survei menjadi intelijen kesehatan masyarakat yang esensial untuk perencanaan, implementasi, dan evaluasi program pengendalian penyakit tular vektor.

H. Rangkuman

Indeks entomologi merupakan perangkat esensial yang mentransformasi data survei lapangan menjadi indikator standar untuk mengukur kepadatan dan sebaran vektor penyakit, khususnya *Aedes aegypti*. Pengukuran populasi pra-dewasa menjadi fondasi surveilans, dengan empat indeks utama yang memberikan perspektif berbeda. *House Index* (HI) mengukur sebaran vektor di tingkat rumah tangga, sementara *Container Index* (CI) mengidentifikasi produktivitas jenis-jenis wadah sebagai tempat perindukan. *Breteau Index* (BI), yang menghitung jumlah kontainer positif per 100 rumah, dianggap paling representatif karena mengintegrasikan sebaran dan kepadatan, menjadikannya indikator densitas perindukan yang andal. Di Indonesia, Angka Bebas Jentik (ABJ), yang secara matematis merupakan kebalikan dari HI, diadopsi sebagai target operasional utama karena kemudahannya dikomunikasikan kepada masyarakat. Namun, indeks berbasis larva ini memiliki keterbatasan karena tidak secara langsung mengukur populasi nyamuk dewasa yang menularkan penyakit. Untuk mengatasi celah ini, dikembangkan indikator lain seperti *Ovitrap Index* (OI), yang sangat sensitif dalam mendeteksi aktivitas oviposisi (bertelur) nyamuk betina dewasa, bahkan pada kepadatan rendah, sehingga berfungsi sebagai sistem peringatan dini yang efektif. Selain itu, survei pupa, meskipun sulit dilakukan, menawarkan proksi terbaik untuk estimasi jumlah nyamuk dewasa yang akan muncul karena mortalitas alaminya yang rendah. Seorang praktisi kesehatan masyarakat harus mampu memilih dan menggabungkan berbagai indeks ini secara strategis—menggunakan indeks larva untuk panduan pemberantasan sarang nyamuk, OI untuk deteksi dini, dan survei pupa untuk asesmen risiko yang lebih akurat—demi merancang program pengendalian vektor yang komprehensif dan terukur.

I. Latihan Mahasiswa

a. Essay

1. Bandingkan secara kritis *House Index* (HI) dan *Breteau Index* (BI). Analisislah situasi di mana penggunaan HI mungkin sudah cukup memberikan informasi, dan situasi lain di mana BI menjadi mutlak diperlukan untuk pengambilan keputusan intervensi pemberantasan sarang nyamuk yang efektif.
2. Evaluasi penggunaan Angka Bebas Jentik (ABJ) sebagai target kinerja utama program pengendalian DBD di Indonesia. Argumentasikan kelebihan ABJ dari sisi mobilisasi masyarakat dan kemudahan pelaporan, serta telaah potensi kelemahannya dalam merepresentasikan risiko entomologi yang sebenarnya di suatu wilayah.
3. Rumuskan sebuah proposal strategi surveilans entomologi untuk kawasan pelabuhan internasional yang berisiko tinggi menjadi pintu masuk spesies nyamuk invasif. Pilihlah kombinasi indeks yang paling efektif dan efisien untuk tujuan deteksi dini dan respons cepat, serta berikan justifikasi untuk pilihan Anda.
4. Analisislah pernyataan bahwa "survei pupa merupakan proksi terbaik untuk estimasi jumlah nyamuk dewasa yang akan muncul". Jelaskan dasar ilmiah di balik klaim ini dan diskusikan kendala-kendala praktis di lapangan yang menyebabkan indeks ini tidak digunakan secara luas dibandingkan indeks larva.
5. Telaah keterbatasan fundamental dari semua indeks berbasis larva (HI, CI, BI) dalam memprediksi secara akurat potensi terjadinya wabah Demam Berdarah Dengue (DBD). Jelaskan mengapa suatu wilayah dengan angka indeks larva yang relatif rendah sekalipun masih dapat mengalami wabah yang signifikan.

b. Pilihan Berganda

1. Seorang sanitarian menemukan jentik di 15 dari 100 rumah yang diperiksa. Angka 15% yang didapat dari perhitungan ini merujuk pada indeks...
 - a. Container Index (CI)
 - b. House Index (HI)
 - c. Breteau Index (BI)
 - d. Ovitrap Index (OI)
2. Indeks entomologi yang dianggap paling representatif karena mengombinasikan elemen sebaran di tingkat rumah dan kepadatan kontainer positif adalah...
 - a. House Index (HI)
 - b. Container Index (CI)

- c. Breteau Index (BI)
 - d. Angka Bebas Jentik (ABJ)
3. Jika hasil survei di 100 rumah menemukan total 40 kontainer positif jentik, maka nilai Breteau Index (BI) di wilayah tersebut adalah...
- a. 20
 - b. 30
 - c. 40
 - d. 100
4. Program pengendalian vektor di suatu kelurahan menetapkan target Angka Bebas Jentik (ABJ) sebesar 95%. Ini berarti, dari seluruh rumah yang diperiksa, persentase rumah yang boleh ditemukan jentik (House Index) tidak boleh melebihi...
- a. 5%
 - b. 10%
 - c. 95%
 - d. Tidak dapat ditentukan
5. Tujuan utama pemasangan ovitrap dalam sebuah program surveilans vektor adalah untuk...
- a. Menghitung jumlah total larva di suatu area
 - b. Mengukur kepadatan pupa sebelum menjadi dewasa
 - c. Mendeteksi keberadaan dan aktivitas bertelur nyamuk betina dewasa
 - d. Menangkap nyamuk jantan untuk analisis genetik
6. Keunggulan utama dari Ovitrap Index (OI) dibandingkan survei larva konvensional adalah...
- a. Biaya operasional yang jauh lebih murah
 - b. Kemampuannya mengukur langsung populasi nyamuk yang menggigit
 - c. Sensitivitasnya yang tinggi untuk mendeteksi vektor pada kepadatan rendah
 - d. Kemudahan dalam identifikasi spesies larva di lapangan
7. Seorang epidemiolog ingin mengetahui jenis tempat penampungan air mana yang paling sering menjadi sarang nyamuk di Kecamatan X untuk merancang pesan promosi kesehatan yang spesifik. Indeks yang paling relevan untuk menjawab pertanyaan ini adalah...
- a. House Index (HI)
 - b. Container Index (CI)
 - c. Breteau Index (BI)
 - d. Angka Bebas Jentik (ABJ)
8. Komponen utama dari sebuah ovitrap standar yang berfungsi sebagai media bagi nyamuk *Aedes* untuk meletakkan telurnya adalah...

- a. Air gula sebagai atraktan
 - b. Papan kayu (paddle) yang diletakkan di dalam wadah
 - c. Jaring kasa untuk menangkap nyamuk dewasa
 - d. Pelet pakan ikan untuk nutrisi larva
9. Survei pupa dianggap memberikan estimasi risiko penularan yang lebih akurat dibandingkan survei larva karena...
- a. Pupa lebih mudah ditemukan dan dihitung daripada larva
 - b. Stadium pupa memiliki tingkat mortalitas alami yang sangat rendah
 - c. Pupa hanya ditemukan di dalam rumah, tidak di luar rumah
 - d. Masa hidup pupa lebih panjang dari masa hidup larva
10. Dalam sebuah survei di Kelurahan Krobokan, ditemukan 20 rumah positif dari 100 rumah diperiksa, dan total 500 kontainer diperiksa. Jika nilai Breteau Index (BI) adalah 30, berapa jumlah total kontainer positif yang ditemukan di 100 rumah tersebut?
- a. 20
 - b. 30
 - c. 50
 - d. 100

c. Soal Project / Studi Kasus

1. Kota Harapan Bangsa secara konsisten melaporkan Angka Bebas Jentik (ABJ) di atas 95% di seluruh kelurahannya, melebihi target nasional. Namun, dalam tiga bulan terakhir, terjadi peningkatan tajam kasus Demam Berdarah Dengue (DBD) yang berujung pada status Kejadian Luar Biasa (KLB). Dinas Kesehatan setempat hanya mengandalkan data ABJ yang dikumpulkan oleh kader Jumantik. Anda adalah seorang konsultan epidemiologi yang ditugaskan untuk menganalisis situasi ini.

Instruksi: Analisislah mengapa ketergantungan tunggal pada ABJ dapat menyesatkan dan tidak mampu memprediksi KLB tersebut. Rumuskan rekomendasi surveilans entomologi yang lebih komprehensif untuk Dinas Kesehatan, dengan menjelaskan bagaimana penggunaan Breteau Index (BI) dan Ovitrap Index (OI) dapat memberikan gambaran risiko yang lebih akurat dan tindakan apa yang dapat dipicu oleh masing-masing indeks.

2. Puskesmas Cipta Sehat melayani wilayah perkotaan padat penduduk dengan sumber daya (tenaga dan dana) yang sangat terbatas. Melakukan survei larva dari rumah ke rumah di seluruh wilayah kerja adalah hal yang mustahil. Namun, kepala Puskesmas ingin menerapkan sistem surveilans vektor yang efisien untuk memprioritaskan area intervensi. Wilayah tersebut memiliki beberapa titik keramaian seperti pasar tradisional, terminal angkutan umum, dan beberapa sekolah dasar.

Instruksi: Rancanglah sebuah strategi surveilans vektor yang bersifat "sentinel" dan hemat biaya untuk Puskesmas Cipta Sehat. Argumentasikan pilihan metode surveilans Anda (misalnya, penggunaan ovitrap), lokasi strategis pemasangannya, dan bagaimana data yang terkumpul dapat digunakan untuk memicu kegiatan survei larva atau pemberantasan sarang nyamuk yang lebih terfokus dan efisien.

BAB 8

ANALISIS TERPADU DATA ENTOMOLOGI

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah menyelesaikan pembahasan pada bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menggunakan berbagai sumber data (entomologi, epidemiologi, lingkungan) untuk menyusun basis data terpadu sebagai dasar analisis vektor.
2. Menentukan pola hubungan spasial dan temporal antara kepadatan vektor dan insidensi penyakit menggunakan perangkat lunak statistik atau GIS sederhana.
3. Menerapkan kerangka interpretasi untuk menganalisis temuan entomologis dalam konteks studi kasus penyakit tular vektor spesifik di Indonesia.
4. Menyelesaikan sebuah laporan analisis entomologi terpadu yang ringkas dan informatif sesuai format standar untuk pemangku kepentingan.
5. Memilih strategi intervensi pengendalian vektor yang paling tepat berdasarkan bukti dari hasil analisis data terpadu.

B. Pendahuluan

Data surveilans vektor dan penyakit yang melimpah seringkali menjadi pedang bermata dua bagi praktisi kesehatan masyarakat. Di satu sisi, ketersediaan data adalah fondasi bagi program berbasis bukti. Di sisi lain, data yang terkumpul secara terpisah—data entomologi di satu unit, data epidemiologi di unit lain, dan data lingkungan dari instansi berbeda—seringkali gagal memberikan gambaran utuh. Konsep dasarnya adalah bahwa data yang terfragmentasi menghasilkan pemahaman yang parsial dan, akibatnya, intervensi yang kurang efektif. Bayangkan sebuah kabupaten di pesisir utara Jawa yang menghadapi lonjakan kasus Demam Berdarah Dengue (DBD). Tim entomologi dari Dinas Kesehatan melaporkan Angka Bebas Jentik (ABJ) yang rendah di beberapa kelurahan, mengindikasikan kepadatan populasi *Aedes aegypti* yang tinggi. Pada saat yang sama, data dari puskesmas menunjukkan kluster kasus DBD justru terkonsentrasi di kelurahan yang berbeda, yang menurut laporan memiliki ABJ relatif lebih baik. Tanpa analisis terpadu, respons yang mungkin diambil adalah fogging intensif di area dengan ABJ rendah, sementara area dengan transmisi aktif mungkin kurang terjamah. Implikasinya adalah pemborosan sumber daya dan respons yang lambat terhadap dinamika penularan sebenarnya, di mana mobilitas penduduk antara rumah (lokasi kasus) dan tempat kerja atau sekolah (potensi lokasi paparan) tidak terpetakan.

Kegagalan menghubungkan titik-titik data ini adalah tantangan sentral yang harus diatasi oleh seorang ahli kesehatan masyarakat.

Bab ini dirancang untuk membekali Anda dengan kompetensi krusial dalam melakukan analisis terpadu, sebuah proses mengubah tumpukan data mentah menjadi intelijen kesehatan yang dapat ditindaklanjuti. Analisis terpadu bukan sekadar menggabungkan tabel data, melainkan sebuah pendekatan sintesis untuk mengidentifikasi pola, korelasi, dan anomali yang tersembunyi di antara berbagai set data. Mari kita kembali pada studi kasus DBD di kabupaten pesisir tadi. Seorang analis yang kompeten akan menerapkan pendekatan terpadu dengan melakukan *overlay* peta sebaran kasus (data epidemiologi) di atas peta kepadatan jentik (data entomologi) dan peta curah hujan mingguan (data lingkungan) menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Analisis ini mungkin mengungkap sebuah pola: lonjakan kasus secara konsisten terjadi tiga minggu setelah curah hujan di atas 50 mm/hari dan berpusat di sekitar area pasar besar yang berbatasan dengan pemukiman padat, meskipun ABJ di pemukiman itu sendiri tidak terlalu buruk. Implikasi dari temuan ini bersifat transformatif. Intervensi tidak lagi hanya berupa fogging reaktif, tetapi dapat berupa program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) yang dijadwalkan secara proaktif satu minggu setelah hujan lebat, dengan fokus khusus pada area komersial seperti pasar yang menjadi sumber penularan utama. Inilah kekuatan analisis terpadu: mengubah program pengendalian vektor dari sekadar reaksi menjadi antisipasi strategis.

Untuk mencapai tingkat kompetensi tersebut, pembahasan dalam bab ini akan dipaparkan secara sistematis dan aplikatif. Kita akan memulai perjalanan dengan mempelajari teknik praktis untuk **integrasi data surveilans** dari format dan sumber yang beragam. Setelah data terkonsolidasi, kita akan melangkah ke jantung analisis, yaitu metode untuk menguji **hubungan data vektor dan penyakit** secara spasial dan temporal. Kemampuan teknis ini akan diperkaya dengan pembahasan mengenai **interpretasi data berbasis kasus**, yang akan melatih Anda untuk membaca data tidak hanya sebagai angka, tetapi sebagai narasi dari sebuah peristiwa kesehatan masyarakat. Selanjutnya, Anda akan belajar bagaimana mengomunikasikan temuan kompleks tersebut secara efektif melalui **penyusunan laporan analisis** yang ringkas dan persuasif. Pada akhirnya, seluruh rangkaian keterampilan ini akan bermuara pada tujuan puncak dari setiap upaya analisis di bidang kesehatan masyarakat: kapabilitas untuk melakukan **pengambilan keputusan berbasis data** dalam memilih dan merancang intervensi pengendalian vektor yang paling efisien dan berdampak.

C. Integrasi Data Surveilans

Integrasi data surveilans merupakan langkah fundamental untuk mengubah data mentah menjadi intelijen kesehatan masyarakat. Sebagaimana telah

diuraikan pada Bab 6 dan 7, surveilans entomologi menghasilkan beragam data seperti Angka Bebas Jentik (ABJ), *Container Index* (CI), dan kepadatan nyamuk dewasa. Namun, data ini baru akan memiliki makna strategis jika digabungkan dengan data dari disiplin lain. Proses integrasi ini bukan sekadar kompilasi, melainkan sintesis sistematis dari setidaknya tiga pilar data utama: data entomologi, data epidemiologi, dan data lingkungan/sosial. Tujuannya adalah untuk membangun sebuah basis data terpadu (*unified database*) yang memungkinkan analisis multivariat untuk mengungkap pola penularan yang kompleks. Tanpa integrasi, program pengendalian vektor berisiko berjalan dalam "lorong gema" entomologis, di mana keputusan hanya didasarkan pada keberadaan vektor tanpa mempertimbangkan di mana dan kapan penyakit sebenarnya terjadi.

Langkah pertama dalam integrasi adalah standardisasi data. Data dari berbagai sumber seringkali datang dalam format, skala, dan periode waktu yang berbeda. Data epidemiologi dari puskesmas mungkin dicatat harian berdasarkan tanggal onset gejala, sementara data entomologi dari survei lapangan dicatat per siklus survei (misalnya, triwulanan). Data iklim dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) tersedia dalam resolusi harian (curah hujan, suhu, kelembapan), sedangkan data demografi dari Badan Pusat Statistik (BPS) mungkin hanya diperbarui tahunan atau dekade. Tantangan teknisnya adalah menyelaraskan unit analisis spasial (misalnya, semua data diagregasi ke level kelurahan atau RT/RW) dan temporal (misalnya, semua data dikonversi ke unit mingguan atau bulanan). Penggunaan kode wilayah administrasi yang seragam, seperti yang diupayakan dalam kebijakan Satu Peta, menjadi krusial untuk memastikan data dari instansi berbeda dapat "berbicara" satu sama lain (Widartono, 2022). Sebagai contoh, data kasus DBD dari Sistem Kewaspadaan Dini dan Respons (SKDR) Kementerian Kesehatan perlu dipetakan ke kode wilayah yang sama dengan data ABJ yang dikumpulkan oleh juru pemantau jentik (jumantik) di tingkat kelurahan.

Setelah standardisasi, data-data tersebut digabungkan ke dalam satu platform, yang bisa berupa *spreadsheet* sederhana untuk analisis skala kecil, atau idealnya, sebuah basis data geospasial dalam Sistem Informasi Geografis (SIG). Platform ini memungkinkan setiap titik data memiliki atribut spasial (koordinat atau kode wilayah) dan temporal (tanggal atau periode waktu). Sebagai ilustrasi, mari kita bayangkan sebuah studi kasus di Kota Surabaya. Tim analisis akan mengintegrasikan:

1. **Data Entomologi:** Laporan ABJ per kelurahan setiap bulan dari Dinas Kesehatan.
2. **Data Epidemiologi:** Jumlah kasus baru DBD per kelurahan setiap minggu dari seluruh puskesmas di Surabaya.

3. **Data Lingkungan:** Data curah hujan harian dari stasiun BMKG terdekat.

4. **Data Sosial-Demografi:** Kepadatan penduduk dan persentase rumah kumuh per kelurahan dari data BPS.

Integrasi ini memungkinkan analis untuk mengajukan pertanyaan yang lebih mendalam, seperti: "Apakah kelurahan dengan penurunan ABJ paling tajam juga merupakan kelurahan dengan lonjakan kasus DBD dua minggu kemudian, terutama setelah periode hujan lebat?" Pertanyaan semacam ini tidak mungkin dijawab jika setiap set data tetap terisolasi di unit atau instansi masing-masing. Integrasi data merupakan prasyarat untuk analisis yang lebih canggih, yang menghubungkan berbagai disiplin ilmu untuk tujuan bersama (Tanjung, 2023).

CONTOH

Integrasi Data Malaria di Perbukitan Menoreh, Jawa Tengah.

Dalam upaya eliminasi malaria, wilayah perbatasan seperti Kabupaten Purworejo dan Kulon Progo menghadapi tantangan kasus impor dan potensi penularan lokal. Analis kesehatan masyarakat mengintegrasikan beberapa lapis data:

- **Data Vektor:** Peta sebaran *Anopheles maculatus* (vektor utama) dari survei entomologi.
- **Data Kasus:** Lokasi historis kasus malaria (baik impor maupun indigenous) dari dinas kesehatan.
- **Data Lingkungan:** Peta tutupan lahan (sawah, hutan), kemiringan lereng, dan jarak dari sumber air, yang diperoleh dari data satelit dan kebijakan Satu Peta.
- **Data Mobilitas:** Pola pergerakan penduduk dari dan ke daerah endemis lain (misalnya, pekerja tambang yang kembali dari Kalimantan).

Dengan meng-overlay semua data ini dalam SIG, tim dapat mengidentifikasi "wilayah reseptif", yaitu area yang tidak memiliki kasus saat ini tetapi memiliki kondisi vektor dan lingkungan yang sangat cocok untuk terjadinya penularan jika ada kasus impor masuk. Ini adalah contoh nyata bagaimana integrasi data mengubah pendekatan reaktif menjadi proaktif (Widartono, 2022; Mulyawati, 2022).

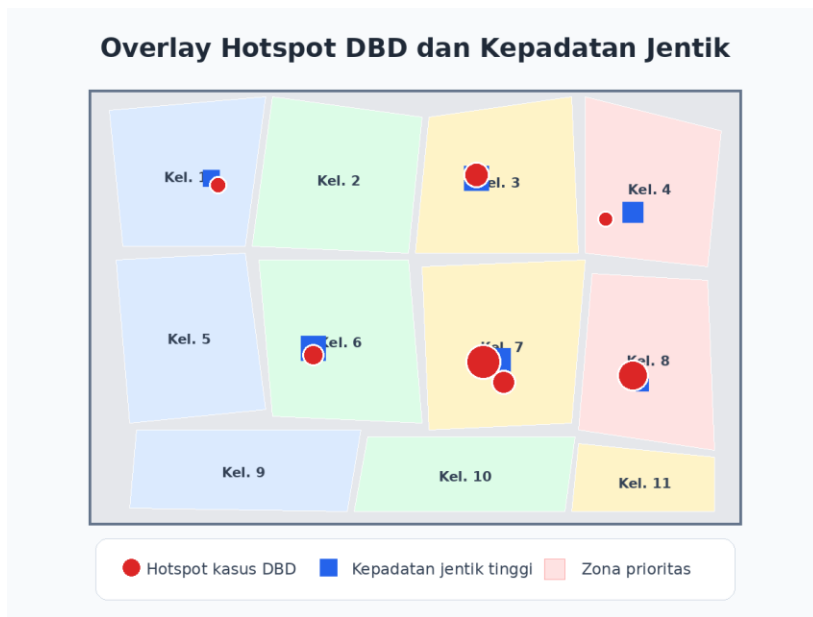
D. Analisis Hubungan Data Vektor dan Penyakit

Setelah data berhasil diintegrasikan, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis untuk mengidentifikasi dan mengukur hubungan antara keberadaan vektor dan kejadian penyakit. Analisis ini bergerak melampaui deskripsi sederhana ("kepadatan vektor tinggi", "kasus penyakit meningkat") menuju kuantifikasi hubungan statistik yang dapat diuji. Dua dimensi utama dalam analisis ini adalah hubungan temporal (waktu) dan spasial (ruang). Memahami kedua dimensi ini secara bersamaan adalah kunci untuk mengungkap dinamika

transmisi dan merancang intervensi yang tepat waktu dan tepat sasaran. Pendekatan ini merupakan inti dari manajemen vektor terpadu yang berbasis bukti (Fitriani, 2023).

Analisis temporal berfokus pada korelasi antar variabel sepanjang waktu. Teknik yang umum digunakan adalah analisis deret waktu (*time-series analysis*). Tujuannya adalah untuk melihat apakah ada pola yang dapat diprediksi antara perubahan pada satu variabel (misalnya, curah hujan atau kepadatan larva) dengan perubahan pada variabel lain (misalnya, kepadatan nyamuk dewasa atau insidensi penyakit) setelah jeda waktu tertentu (*time lag*). Sebagai contoh, dalam konteks DBD di Indonesia, sudah menjadi pengetahuan umum bahwa puncak kasus seringkali mengikuti puncak musim hujan. Analisis temporal dapat mengkuantifikasi jeda waktu ini. Misalnya, analisis di Kota Semarang mungkin menemukan bahwa korelasi terkuat antara curah hujan mingguan dan kasus DBD mingguan terjadi pada jeda waktu 6-8 minggu. Informasi ini sangat berharga: sistem peringatan dini dapat dikembangkan untuk meningkatkan kewaspadaan dan mengintensifkan program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) 6 minggu setelah terjadi curah hujan ekstrem, sebelum lonjakan kasus benar-benar terjadi.

Analisis spasial, di sisi lain, berfokus pada distribusi geografis dari vektor dan penyakit. Dengan bantuan Sistem Informasi Geografis (SIG), kita dapat memvisualisasikan dan menganalisis pola keruangan. Teknik yang paling dasar adalah membuat peta tematik (*choropleth map*) yang menunjukkan tingkat kepadatan vektor (misalnya, ABJ per kelurahan) atau insidensi penyakit (kasus per 100.000 penduduk per kelurahan). Analisis yang lebih canggih mencakup analisis kluster atau *hotspot analysis* (misalnya, menggunakan statistik Getis-Ord Gi). *Analisis ini secara statistik mengidentifikasi area-area di mana konsentrasi kasus atau vektor secara signifikan lebih tinggi daripada yang diharapkan secara acak.*



Gambar 8.1 Peta Overlay Hotspot Kasus DBD dan Kepadatan Jentik di Kecamatan X

Peta pada Gambar 8.1 mengilustrasikan hasil analisis spasial. Terlihat bahwa beberapa kluster kasus (hotspot merah) tumpang tindih dengan area kepadatan jentik tinggi (area biru), menunjukkan kemungkinan transmisi lokal di area tersebut. Namun, ada juga hotspot kasus yang berada di luar area biru, yang memunculkan hipotesis lain seperti mobilitas penduduk atau adanya tempat berkembangbiak tersembunyi yang tidak terdeteksi survei.

Integrasi analisis temporal dan spasial memberikan pemahaman yang paling komprehensif. Misalnya, dengan menggunakan model regresi ruang-waktu (*spatio-temporal regression*), seorang analis dapat membangun model prediksi yang memperhitungkan tidak hanya bagaimana kasus di satu lokasi pada waktu t dipengaruhi oleh kepadatan vektor di lokasi yang sama pada waktu $t-1$, tetapi juga oleh kasus di lokasi tetangga. Pendekatan semacam ini memungkinkan identifikasi wilayah yang paling reseptif dan rentan terhadap wabah (Mulyawati, 2022). Meskipun terdengar kompleks, perangkat lunak statistik modern dan SIG telah membuat metode ini semakin mudah diakses oleh praktisi kesehatan masyarakat di tingkat kabupaten/kota.

E. Interpretasi Data Berbasis Kasus

Analisis statistik dan spasial pada tahap sebelumnya menghasilkan pola dan korelasi, namun angka dan peta tersebut belum bisa "berbicara" sendiri. Tahap interpretasi adalah jembatan krusial antara hasil analisis (apa yang terjadi) dan pemahaman programatik (mengapa itu terjadi dan apa artinya). Interpretasi yang baik bersifat multidisiplin, mengintegrasikan temuan kuantitatif dengan pengetahuan tentang biologi vektor, perilaku manusia, dan konteks lingkungan

lokal. Tanpa interpretasi yang cermat, ada risiko besar untuk menarik kesimpulan yang salah dan, akibatnya, merancang intervensi yang tidak efektif atau bahkan kontraproduktif. Kemampuan menginterpretasi data dalam konteks kasus spesifik membedakan seorang analis data dari seorang ahli epidemiologi lapangan.

Salah satu tantangan interpretasi yang paling umum adalah diskoneksi antara data vektor dan data kasus. Sebagai contoh, analisis spasial mungkin menunjukkan bahwa Kelurahan A memiliki Angka Bebas Jentik (ABJ) terendah (misalnya, 80%), sementara kluster kasus DBD terbesar justru ditemukan di Kelurahan B yang memiliki ABJ lebih baik (misalnya, 95%). Seorang analis yang naif mungkin akan menyimpulkan bahwa ABJ bukan indikator yang baik. Namun, seorang ahli yang terlatih akan mengajukan serangkaian pertanyaan investigatif:

1. **Mobilitas Penduduk:** Apakah penduduk Kelurahan B banyak yang bekerja atau bersekolah di Kelurahan A? Mungkin penularan tidak terjadi di rumah (di Kelurahan B), tetapi di tempat aktivitas harian (di Kelurahan A).
2. **Karakteristik Tempat Perindukan:** Mungkinkah di Kelurahan B, meskipun jumlah rumah yang positif jentik sedikit, tempat perindukan yang ada justru sangat produktif (misalnya, tandon air besar, ban bekas di bengkel) sehingga menghasilkan populasi nyamuk dewasa yang masif dari sedikit lokasi? Identifikasi larva di tempat-tempat spesifik seperti rumah sakit atau fasilitas umum lainnya bisa memberikan petunjuk (Muhammad, 2022).
3. **Kualitas Survei:** Apakah survei jentik di Kelurahan B dilakukan dengan seksama? Mungkinkah petugas melewati tempat perindukan yang tidak biasa (*cryptic breeding sites*)?
4. **Faktor Perilaku:** Apakah ada perbedaan perilaku pencegahan antara penduduk di kedua kelurahan? Pengetahuan dan tindakan masyarakat dalam pencegahan DBD bisa sangat bervariasi dan memengaruhi risiko transmisi (Siregar, 2021).

Contoh lain adalah interpretasi data temporal. Misalkan data menunjukkan tidak ada korelasi antara kepadatan larva dan kepadatan nyamuk dewasa. Ini bisa berarti beberapa hal. Mungkin metode sampling nyamuk dewasa (misalnya, *light trap*) tidak efektif untuk menangkap spesies vektor yang dominan di area tersebut, yang mungkin lebih bersifat eksofagik (menggigit di luar rumah) atau memiliki puncak aktivitas pada waktu yang berbeda. Atau, bisa jadi ada faktor lingkungan lain yang menjadi penentu utama kelangsungan hidup dari larva ke dewasa, seperti predator alami atau intervensi larvasida yang tidak tercatat. Interpretasi yang benar membutuhkan pemahaman mendalam tentang biologi vektor sebagaimana dibahas pada Bab 3.

❗ PERHATIAN

Bahaya Ekologis (Ecological Fallacy). Salah satu jebakan terbesar dalam interpretasi data agregat (seperti data per kelurahan atau kabupaten) adalah *ecological fallacy*. Ini adalah kesalahan dalam mengasumsikan bahwa hubungan yang teramati pada tingkat kelompok juga berlaku pada tingkat individu. Misalnya, jika sebuah kelurahan dengan rata-rata pendapatan tinggi memiliki insidensi DBD yang tinggi, kita tidak bisa langsung menyimpulkan bahwa orang kaya lebih rentan terhadap DBD. Bisa jadi, di dalam kelurahan tersebut, kasus justru terkonsentrasi di kantong-kantong pemukiman padat berpenghasilan rendah, atau gaya hidup penduduk berpenghasilan tinggi (misalnya, banyak tanaman hias dengan pot yang menampung air) secara tidak sengaja menciptakan habitat bagi nyamuk. Investigasi lebih lanjut pada tingkat rumah tangga atau individu seringkali diperlukan untuk memvalidasi hipotesis yang muncul dari analisis data agregat.

Pada akhirnya, interpretasi data adalah proses iteratif yang memadukan sains dan seni investigasi. Ini melibatkan pembentukan hipotesis, mencari bukti pendukung atau sanggahan dari berbagai sumber data, dan terus-menerus menantang asumsi awal. Hasil dari proses ini bukanlah satu "jawaban" tunggal, melainkan serangkaian penjelasan yang paling mungkin (*plausible explanations*) yang dapat menjadi dasar untuk penyusunan rekomendasi yang logis dan dapat dipertanggungjawabkan.

F. Penyusunan Laporan Analisis

Sebuah analisis yang brilian tidak akan berguna jika hasilnya tidak dapat dipahami oleh para pengambil keputusan. Penyusunan laporan analisis adalah keterampilan komunikasi kritis yang bertujuan untuk menerjemahkan temuan teknis yang kompleks menjadi narasi yang jelas, ringkas, dan dapat ditindaklanjuti. Laporan yang efektif harus mampu menjawab tiga pertanyaan kunci dari audiensnya (misalnya, kepala dinas kesehatan, camat, atau kepala puskesmas): "Apa masalah utamanya?", "Di mana dan kapan masalah itu terjadi?", dan "Apa yang bisa kita lakukan?". Format dan gaya laporan harus disesuaikan dengan audiens, namun struktur dasarnya harus mengikuti alur logika yang sistematis, mirip dengan bagaimana sebuah perusahaan menyajikan laporan kinerja keuangannya untuk penilaian (Soleha, 2022; Martina, 2022).

Struktur laporan analisis data entomologi terpadu yang baik umumnya mencakup komponen-komponen berikut:

1. **Ringkasan Eksekutif (Executive Summary):** Bagian terpenting dari laporan, seringkali satu-satunya bagian yang dibaca oleh para eksekutif yang sibuk. Bagian ini harus merangkum temuan paling krusial dan rekomendasi utama dalam satu halaman atau kurang (sekitar 250-300 kata).

2. **Pendahuluan:** Latar belakang singkat tentang masalah kesehatan masyarakat yang dianalisis (misalnya, peningkatan kasus DBD di Kabupaten X), periode waktu analisis, dan tujuan dari laporan tersebut.
3. **Metodologi:** Penjelasan singkat dan jelas tentang sumber data yang digunakan (misalnya, data SKDR, hasil survei jentik, data BMKG), unit analisis (misalnya, kelurahan, minggu), dan metode analisis utama yang diterapkan (misalnya, analisis korelasi temporal, pemetaan hotspot SIG). Bagian ini penting untuk transparansi dan reproduktibilitas.
4. **Hasil:** Penyajian temuan utama secara objektif. Bagian ini harus kaya dengan visualisasi data seperti grafik, peta, dan tabel. Grafik tren temporal yang menunjukkan dinamika kasus dan indeks vektor dari waktu ke waktu sangat efektif. Peta hotspot yang menyoroti area prioritas juga wajib disertakan. Semua visualisasi harus diberi judul yang jelas dan interpretasi singkat.
5. **Diskusi/Interpretasi:** Ini adalah "jantung" dari laporan, di mana analisis menjelaskan "mengapa" di balik "apa" yang disajikan di bagian Hasil. Di sinilah hubungan antara data vektor, kasus, dan lingkungan dibahas, termasuk anomali atau temuan yang tidak terduga, serta keterbatasan analisis.
6. **Kesimpulan dan Rekomendasi:** Bagian ini harus secara langsung menjawab tujuan laporan. Kesimpulan merangkum poin-poin terpenting dari diskusi. Rekomendasi harus bersifat spesifik, terukur, dapat dicapai, relevan, dan berbatas waktu (SMART). Alih-alih rekomendasi umum seperti "tingkatkan PSN", laporan yang baik akan merekomendasikan "lakukan gerakan PSN serentak yang difokuskan pada pembersihan tempat penampungan air di 10 RW hotspot di Kelurahan Y dalam dua minggu ke depan".

Untuk menyajikan data secara ringkas dan komparatif, penggunaan tabel rekapitulasi sangat dianjurkan. Tabel semacam ini memungkinkan pembaca untuk dengan cepat membandingkan situasi di berbagai wilayah dan memahami dasar dari rekomendasi yang diberikan.

Tabel 8.1 Ringkasan Analisis Situasi DBD dan Vektor di Tiga Kelurahan Prioritas, Kabupaten X, Bulan Januari 2024

Indikator Analisis	Kelurahan Maju	Kelurahan Sejahtera	Kelurahan Damai
Jumlah Kasus DBD	25	8	2
Insidensi per 100.000	125	40	10
Status Hotspot	Tinggi	Rendah	Tidak Ada
Angka Bebas	85%	96%	92%

Jentik (ABJ)			
Container Index (CI)	15%	4%	8%
Korelasi Kasus & ABJ	Negatif lemah	Tidak signifikan	Tidak signifikan
Interpretasi Kunci	Transmisi aktif tinggi meskipun ABJ tidak terlalu buruk. Kemungkinan ada <i>super-breeder</i> atau transmisi terjadi di luar rumah (sekolah/pasar).	Kasus sporadis, ABJ baik. Risiko rendah namun perlu pemantauan berkelanjutan.	ABJ di bawah standar nasional (95%) tetapi kasus rendah. Potensi risiko jika ada kasus impor.
Rekomendasi Utama	Investigasi epidemiologi, fogging fokus di sekitar rumah penderita, PSN intensif di fasilitas umum.	Pertahankan surveilans rutin dan promosi kesehatan.	Tingkatkan kegiatan PSN oleh kader jumentik untuk mencapai target ABJ >95%.

Tabel seperti di atas mengubah data kompleks menjadi informasi yang dapat dicerna, menyoroti perbedaan antar wilayah dan menghubungkan temuan langsung dengan tindakan yang direkomendasikan, mirip dengan prinsip pengendalian kualitas dalam industri (Putri, 2021).

G. Pengambilan Keputusan Berbasis Data

Puncak dari seluruh siklus surveilans dan analisis adalah pengambilan keputusan yang berbasis bukti (*evidence-based decision-making*). Semua upaya pengumpulan, integrasi, dan analisis data akan sia-sia jika tidak bermuara pada tindakan yang lebih cerdas, lebih efisien, dan lebih efektif. Pengambilan keputusan berbasis data memindahkan paradigma pengendalian vektor dari respons yang reaktif dan seragam (misalnya, fogging massal di seluruh kota setiap kali ada laporan kasus) ke intervensi yang proaktif, terfokus, dan disesuaikan dengan konteks lokal. Ini adalah esensi dari *Integrated Vector*

Management (IVM), di mana keputusan didasarkan pada analisis situasional yang cermat (Fitriani, 2023).

Kerangka kerja pengambilan keputusan dapat distrukturkan berdasarkan hasil analisis yang telah disajikan dalam laporan. Berdasarkan laporan pada sub-bab sebelumnya, seorang manajer program dapat membuat keputusan yang berbeda untuk setiap wilayah. Untuk "Kelurahan Maju" (hotspot kasus tinggi, ABJ sedang), keputusannya mungkin adalah intervensi cepat dan berlapis: (a) **Jangka Pendek:** Fogging fokus di radius 100-200 meter di sekitar rumah setiap kasus untuk memotong rantai penularan dengan membunuh nyamuk dewasa yang infeksi; (b) **Jangka Menengah:** Menggerakkan tim untuk melakukan Penyelidikan Epidemiologi (PE) dan PSN intensif, dengan fokus mencari dan memberantas tempat perindukan produktif yang mungkin terlewatkan dalam survei rutin, seperti di fasilitas umum atau area komersial; (c) **Jangka Panjang:** Advokasi kepada pimpinan wilayah (Camat/Lurah) untuk mengaktifkan kembali "Pokjanal DBD" (Kelompok Kerja Operasional Pengendalian DBD) untuk koordinasi lintas sektor.

Sebaliknya, untuk "Kelurahan Damai" (kasus rendah, ABJ di bawah standar), keputusan yang diambil akan sangat berbeda. Melakukan fogging di sini akan menjadi pemborosan sumber daya dan berisiko meningkatkan resistensi insektisida. Keputusan yang lebih tepat berdasarkan data adalah intervensi preventif berbiaya rendah. Ini bisa berupa: (a) **Pelatihan Ulang Kader Jumantik:** Meningkatkan kapasitas kader untuk menemukan tempat perindukan yang tidak biasa; (b) **Kampanye Komunikasi:** Menyebarkan pesan spesifik kepada warga tentang pentingnya menjaga ABJ di atas 95% untuk mencegah wabah di masa depan. Keputusan ini didasarkan pada analisis risiko: wilayah ini bersifat reseptif (vektor ada) tetapi belum rentan (penularan belum terjadi secara luas), sehingga fokusnya adalah mengurangi reseptivitas. Ini sejalan dengan strategi penentuan wilayah reseptif untuk penyakit seperti malaria (Widartono, 2022).

Pengambilan keputusan berbasis data juga mencakup alokasi sumber daya. Dengan peta hotspot yang jelas, sumber daya yang terbatas (petugas, larvasida, mesin fogging, dana operasional) dapat dialokasikan secara proporsional. Area dengan risiko tertinggi mendapatkan prioritas utama, sementara area berisiko rendah mendapatkan intervensi pemeliharaan. Ini meningkatkan efisiensi program secara keseluruhan. Selain itu, kolaborasi lintas sektor menjadi lebih mudah dijustifikasi ketika didukung oleh data yang kuat. Misalnya, jika analisis data menunjukkan kluster kasus DBD berulang kali muncul di sekitar pasar tradisional yang sanitasinya buruk, Dinas Kesehatan memiliki bukti kuat untuk berkolaborasi dengan Dinas Pasar atau Dinas Lingkungan Hidup. Argumen untuk perbaikan drainase atau pengelolaan sampah menjadi jauh lebih persuasif ketika

dapat ditunjukkan kaitannya langsung dengan risiko penyakit, sebuah contoh penerapan *collaborative governance* di tingkat lokal (Harmana, 2021).

i CATATAN

Siklus Pengambilan Keputusan: PDCA (Plan-Do-Check-Act). Pengambilan keputusan berbasis data bukanlah proses satu kali. Ini adalah siklus yang berkelanjutan.

- **Plan:** Berdasarkan analisis data, rencanakan intervensi (misalnya, PSN terfokus di RW 01, 03, 05).
- **Do:** Laksanakan intervensi sesuai rencana.
- **Check:** Lakukan surveilans pasca-intervensi. Apakah ABJ di RW target meningkat? Apakah insidensi kasus baru menurun setelah 2-3 minggu? Ini adalah tahap monitoring dan evaluasi.
- **Act:** Berdasarkan hasil pengecekan, sesuaikan strategi. Jika berhasil, pertahankan atau perluas ke area lain. Jika tidak, analisis kembali mengapa intervensi gagal dan modifikasi pendekatannya. Siklus ini memastikan bahwa program pengendalian vektor terus belajar dan beradaptasi dengan dinamika penularan yang selalu berubah.

H. Rangkuman

Analisis terpadu data entomologi merupakan transformasi data vektor mentah menjadi intelijen kesehatan masyarakat yang dapat ditindaklanjuti. Ini dicapai melalui sintesis sistematis dari tiga pilar data utama: entomologi (misalnya, Angka Bebas Jentik, kepadatan nyamuk), epidemiologi (misalnya, insidensi kasus penyakit), dan lingkungan/sosial (misalnya, curah hujan, kepadatan penduduk). Proses ini krusial untuk menghindari "lorong gema entomologis", di mana keputusan pengendalian hanya didasarkan pada keberadaan vektor tanpa mempertimbangkan konteks penularan penyakit. Langkah fundamental dalam proses ini adalah standarisasi, yaitu menyelaraskan beragam format, skala, dan periode waktu data dari berbagai sumber (mis. data kasus harian, data jentik triwulanan, data iklim harian) ke dalam unit analisis spasial dan temporal yang seragam, seringkali dengan bantuan kode wilayah administrasi yang konsisten. Data yang telah terstandarisasi kemudian diintegrasikan ke dalam sebuah basis data terpadu, idealnya dalam platform Sistem Informasi Geografis (SIG), yang memungkinkan setiap entri data memiliki atribut ruang dan waktu. Setelah integrasi, analisis hubungan dapat dilakukan dalam dua dimensi utama. Analisis temporal, menggunakan teknik seperti analisis deret waktu, bertujuan untuk mengkuantifikasi jeda waktu (*time lag*) antara variabel prediktor (mis. curah hujan) dan variabel hasil (mis. kasus DBD), yang sangat berharga untuk membangun sistem peringatan dini. Sementara itu, analisis spasial

menggunakan SIG untuk mengidentifikasi kluster atau *hotspot* penyakit dan vektor, memungkinkan intervensi yang lebih tepat sasaran. Dengan demikian, integrasi dan analisis terpadu mengubah pendekatan pengendalian vektor dari reaktif menjadi proaktif dan berbasis bukti.

I. Latihan Mahasiswa

a. Essay

1. Telaah konsep "lorong gema entomologis" yang disebutkan dalam bab ini. Argumentasikan mengapa integrasi data dengan pilar epidemiologi dan lingkungan merupakan satu-satunya cara strategis untuk keluar dari jebakan tersebut, dan jelaskan konsekuensi programatik jika sebuah unit kesehatan masyarakat gagal melakukan integrasi ini.
2. Analisis tantangan teknis paling signifikan dalam tahap standarisasi data untuk analisis terpadu, sebagaimana diilustrasikan oleh perbedaan antara data kasus dari SKDR, data ABJ dari jumentik, dan data iklim dari BMKG. Rumuskan sebuah kerangka kerja sederhana yang terdiri dari tiga langkah praktis yang dapat diambil oleh seorang manajer program di tingkat dinas kesehatan kota untuk mengatasi tantangan tersebut.
3. Bandingkan dan kontraskan kegunaan strategis dari analisis temporal (identifikasi *time lag*) dengan analisis spasial (identifikasi *hotspot*). Dalam skenario anggaran terbatas untuk pengendalian DBD, evaluasi manakah di antara kedua hasil analisis tersebut yang harus diprioritaskan oleh seorang kepala dinas kesehatan untuk alokasi sumber daya intervensi, dan berikan justifikasi untuk pilihan Anda.
4. Berdasarkan contoh integrasi data malaria di Perbukitan Menoreh, rumuskan sebuah proposal mini untuk studi serupa guna mengantisipasi penyebaran *Japanese Encephalitis* di sebuah wilayah agraris di Indonesia. Identifikasi setidaknya empat jenis data (dari pilar entomologi, epidemiologi, lingkungan, dan sosial/perilaku) yang perlu Anda integrasikan dan jelaskan bagaimana kombinasi data tersebut dapat membantu mengidentifikasi "wilayah reseptif" untuk penyakit tersebut.
5. Evaluasi pernyataan berikut: "Investasi dalam platform Sistem Informasi Geografis (SIG) dan pelatihan sumber daya manusia untuk mengoperasikannya adalah prasyarat mutlak yang tidak dapat ditawar bagi program pengendalian vektor modern, bahkan di daerah dengan sumber daya terbatas." Argumentasikan posisi Anda dengan mempertimbangkan antara manfaat strategis jangka panjang dan kendala operasional jangka pendek yang mungkin dihadapi.

b. Pilihan Berganda

1. Tujuan utama dari integrasi data surveilans dalam pengendalian vektor adalah untuk...
 - a. Mengumpulkan data entomologi sebanyak mungkin dari lapangan.
 - b. Membangun basis data terpadu untuk analisis multivariat yang mengungkap pola penularan.
 - c. Membuktikan bahwa kepadatan vektor selalu berkorelasi langsung dengan jumlah kasus.
 - d. Menggantikan peran juru pemantau jentik (jumantik) dengan teknologi.
2. Istilah "lorong gema entomologis" merujuk pada situasi di mana keputusan pengendalian vektor...
 - a. Dibuat berdasarkan data epidemiologi saja tanpa mempertimbangkan data vektor.
 - b. Hanya didasarkan pada keberadaan vektor tanpa mempertimbangkan di mana dan kapan penyakit terjadi.
 - c. Menggunakan teknologi canggih seperti SIG secara berlebihan.
 - d. Terlalu fokus pada data sosial-demografi dan mengabaikan data entomologi.
3. Salah satu tantangan teknis utama dalam standardisasi data dari berbagai sumber adalah...
 - a. Kurangnya kemauan politik dari pimpinan instansi.
 - b. Perbedaan format, skala, dan periode waktu pencatatan data.
 - c. Biaya lisensi perangkat lunak analisis statistik yang mahal.
 - d. Keterbatasan jumlah tenaga entomolog di Indonesia.
4. Menurut teks, platform ideal untuk mengintegrasikan data spasial dan temporal dari berbagai sumber adalah...
 - a. Basis data geospasial dalam Sistem Informasi Geografis (SIG).
 - b. Dokumen Microsoft Word yang terstruktur dengan baik.
 - c. Kumpulan laporan tercetak dari setiap instansi terkait.
 - d. *Spreadsheet* sederhana yang hanya berisi data numerik.
5. Dalam konteks eliminasi malaria, identifikasi "wilayah reseptif" bertujuan untuk...
 - a. Menghukum penduduk di wilayah yang tidak patuh pada program kesehatan.
 - b. Memetakan area yang sudah menjadi endemis tinggi dan sulit dikendalikan.
 - c. Mengidentifikasi area yang cocok untuk penularan jika ada kasus impor masuk, sehingga memungkinkan intervensi proaktif.

- d. Menentukan lokasi yang tepat untuk membangun rumah sakit khusus malaria.
- 6. Analisis temporal dalam konteks data vektor dan penyakit berfokus pada...
 - a. Distribusi geografis kasus dan vektor pada satu titik waktu.
 - b. Hubungan antara variabel-variabel yang terjadi di lokasi yang berbeda.
 - c. Korelasi antar variabel sepanjang waktu, termasuk kemungkinan adanya jeda waktu.
 - d. Perbandingan kepadatan vektor antara musim hujan dan musim kemarau.
- 7. Analisis deret waktu yang menemukan bahwa puncak kasus DBD terjadi 6-8 minggu setelah puncak curah hujan merupakan contoh identifikasi...
 - a. Klaster spasial.
 - b. *Time lag* (jeda waktu).
 - c. *Container Index*.
 - d. Korelasi negatif.
- 8. Teknik analisis seperti Getis-Ord Gi *digunakan dalam analisis spasial untuk...*
 - a. Memprediksi curah hujan di masa depan.
 - b. Menghitung Angka Bebas Jentik (ABJ) secara otomatis.
 - c. Mengidentifikasi klaster atau *hotspot* secara statistik.
 - d. Menstandarisasi format data dari berbagai sumber.
- 9. Tiga pilar data utama yang perlu diintegrasikan untuk analisis terpadu adalah...
 - a. Entomologi, virologi, dan farmakologi.
 - b. Entomologi, epidemiologi, dan lingkungan/sosial.
 - c. Laboratorium, klinik, dan apotek.
 - d. BPS, BMKG, dan Kementerian Kesehatan.
- 10. Contoh penerapan analisis spasial yang paling mendasar adalah...
 - a. Membuat grafik deret waktu kasus DBD bulanan.
 - b. Menghitung korelasi antara suhu dan kepadatan nyamuk.
 - c. Membuat peta tematik (*choropleth map*) yang menunjukkan ABJ per kelurahan.
 - d. Melakukan wawancara mendalam dengan pasien untuk mengetahui riwayat perjalanan.

c. Soal Project / Studi Kasus

1. Anda adalah kepala seksi Pencegahan dan Pengendalian Penyakit (P2P) di sebuah dinas kesehatan kota. Selama tiga bulan terakhir, laporan kasus Demam Berdarah Dengue (DBD) dari puskesmas terus meningkat,

meskipun laporan dari tim jumentik menunjukkan Angka Bebas Jentik (ABJ) di sebagian besar kelurahan berada di atas 95%. Anda menduga ada ketidaksesuaian antara data atau ada faktor lain yang belum terungkap. Data kasus (per kelurahan, per minggu) dan data ABJ (per kelurahan, per bulan) tersimpan di dua divisi yang berbeda dan belum pernah digabungkan. Rumuskan sebuah rencana aksi konkret yang terdiri dari 3-4 langkah untuk memulai proses integrasi data ini. Sebagai bagian dari rencana tersebut, formulasikan satu pertanyaan analisis awal yang ingin Anda jawab setelah data berhasil diintegrasikan untuk pertama kalinya.

2. Tim analisis Anda baru saja menyelesaikan peta *hotspot* kasus Leptospirosis di wilayah kabupaten yang sering dilanda banjir. Hasilnya menunjukkan sebuah anomali: kluster kasus dengan kepadatan tertinggi (*hotspot* merah) justru berada di sebuah kecamatan yang secara historis memiliki laporan keberadaan tikus (vektor reservoir) yang lebih rendah dibandingkan kecamatan lain, dan bukan merupakan daerah langganan banjir terparah. Berdasarkan konsep analisis terpadu, hipotesiskan setidaknya tiga kemungkinan penjelasan untuk anomali spasial ini. Untuk setiap hipotesis, sebutkan satu jenis data tambahan (dari pilar lingkungan, sosial, atau perilaku) yang perlu Anda kumpulkan dan integrasikan untuk menguji kebenaran hipotesis tersebut.

BAB 9

ANALISIS RISIKO PENYAKIT TULAR VEKTOR

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah menyelesaikan pembahasan pada bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Membedakan konsep bahaya (*hazard*), risiko (*risk*), dan kerentanan (*vulnerability*) dalam konteks penyakit tular vektor.
2. Menggunakan data variabel lingkungan (misalnya, curah hujan, suhu) dan data epidemiologi (misalnya, insidensi, prevalensi) untuk mengidentifikasi area potensial penularan.
3. Menghitung indeks entomologi kunci (seperti Angka Bebas Jentik, House Index, Container Index) dari data survei lapangan sebagai proksi kepadatan vektor.
4. Menyusun matriks risiko sederhana yang mengkombinasikan tingkat bahaya (kepadatan vektor) dengan tingkat kerentanan (populasi rentan dan riwayat kasus) untuk suatu wilayah.
5. Menentukan prioritas wilayah intervensi pengendalian vektor berdasarkan skor risiko yang telah dihasilkan dari analisis matriks.

B. Pengantar

Seorang kepala puskesmas di sebuah kecamatan endemis malaria di Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah, dihadapkan pada sebuah dilema klasik dalam kesehatan masyarakat: sumber daya yang terbatas versus masalah kesehatan yang luas. Laporan surveilans mingguan menunjukkan peningkatan kasus malaria di beberapa desa setelah puncak musim hujan, sementara data entomologi mengonfirmasi peningkatan kepadatan vektor *Anopheles* di area persawahan dan sekitar pemukiman. Di sisi lain, anggaran untuk kegiatan pengendalian vektor—baik larvasiding maupun penyemprotan insektisida—hanya cukup untuk meng-cover dua dari sepuluh desa yang ada di wilayah kerjanya. Pertanyaannya kemudian menjadi krusial: desa mana yang harus diprioritaskan? Keputusan yang diambil tidak hanya akan menentukan efektivitas program, tetapi juga secara langsung berdampak pada kesehatan dan keselamatan warga. Situasi ini menggarisbawahi urgensi akan sebuah metode yang sistematis dan berbasis bukti untuk mengalokasikan sumber daya secara tepat sasaran. Di sinilah peran sentral analisis risiko dalam pengendalian penyakit tular vektor menjadi sangat nyata.

Analisis risiko menyediakan kerangka kerja logis untuk menjawab pertanyaan tersebut. Ini bukanlah sekadar proses menebak atau mengandalkan

intuisi, melainkan sebuah pendekatan ilmiah untuk mengidentifikasi bahaya (hazard), menilai tingkat risiko yang ditimbulkannya, dan mengelola risiko tersebut secara proporsional. Dalam konteks penyakit tular vektor, konsep ini diterapkan secara konkret. **Konsep** bahaya adalah keberadaan vektor (misalnya, nyamuk *Anopheles*) di suatu wilayah. **Contoh** konkretnya, data survei menunjukkan kepadatan larva yang tinggi di genangan air bekas sawah di Desa A. Namun, bahaya ini baru menjadi risiko tinggi ketika dikombinasikan dengan faktor lain, seperti populasi manusia yang tidak memiliki imunitas, riwayat wabah sebelumnya, dan akses yang terbatas ke layanan kesehatan. **Implikasinya**, Desa A yang memiliki kepadatan vektor tinggi dan riwayat kasus malaria mungkin memiliki skor risiko lebih tinggi dibandingkan Desa B yang memiliki kepadatan vektor serupa tetapi tidak ada riwayat kasus dan populasinya memiliki akses kelambu berinsektisida yang baik. Dengan demikian, analisis risiko memungkinkan praktisi kesehatan masyarakat untuk "membedah" masalah secara terstruktur, mengubah data mentah—seperti data curah hujan, kepadatan vektor, dan laporan kasus—menjadi informasi yang dapat ditindaklanjuti untuk pengambilan keputusan. Bab ini akan memandu Anda secara praktis untuk melakukan analisis tersebut, mulai dari memahami konsep dasarnya, mengidentifikasi variabel lingkungan dan epidemiologi yang relevan, mengolah data kepadatan vektor, menyusun matriks risiko, hingga pada akhirnya mampu menentukan prioritas wilayah intervensi secara objektif dan dapat dipertanggungjawabkan.

C. Konsep Analisis Risiko

Analisis risiko adalah pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mengelola ketidakpastian yang dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia. Sebagaimana telah disinggung pada Bab 8, pengambilan keputusan berbasis data adalah kunci, dan analisis risiko menyediakan kerangka metodologis untuk menerjemahkan data tersebut menjadi tindakan yang terukur dan dapat dipertanggungjawabkan. Dalam konteks pengendalian vektor, analisis risiko bukanlah sekadar upaya reaktif setelah wabah terjadi, melainkan sebuah proses proaktif untuk mengantisipasi dan memitigasi potensi penularan. Proses ini secara fundamental bertumpu pada pemilahan tiga konsep kunci: bahaya, risiko, dan kerentanan.

Bahaya (Hazard) adalah sumber potensi kerusakan atau efek kesehatan yang merugikan. Dalam penyakit tular vektor, bahaya adalah keberadaan vektor itu sendiri (misalnya, nyamuk *Aedes aegypti*), agen penyakit yang dibawanya (virus Dengue), atau kondisi lingkungan yang mendukung perkembangbiakannya (genangan air bersih). Keberadaan nyamuk di sebuah wilayah adalah sebuah bahaya, terlepas dari apakah sudah ada kasus penyakit atau belum. **Risiko (Risk)**, di sisi lain, adalah probabilitas atau kemungkinan

bahwa efek kesehatan yang merugikan akan terjadi jika seseorang atau suatu populasi terpapar bahaya tersebut. Risiko mengombinasikan elemen bahaya dengan elemen paparan dan konsekuensi. **Kerentanan (*Vulnerability*)** adalah tingkat di mana sebuah populasi atau sistem rentan terhadap efek merugikan dari suatu bahaya. Faktor-faktor seperti kepadatan penduduk, status gizi, perilaku masyarakat, akses terhadap layanan kesehatan, dan ketiadaan imunitas kelompok menentukan tingkat kerentanan.

CONTOH

Sebuah area perumahan elit di Jakarta Selatan mungkin memiliki bahaya yang sama dengan area perkampungan padat di Jakarta Utara, yaitu keberadaan nyamuk *Aedes aegypti* (diidentifikasi melalui survei jentik). Namun, risikonya berbeda secara signifikan. Di perumahan elit, rumah-rumah memiliki kasa nyamuk, pendingin udara (mengurangi perilaku membuka jendela), kesadaran warga tentang 3M Plus tinggi, dan akses cepat ke rumah sakit swasta. Ini menurunkan tingkat kerentanan. Sebaliknya, di perkampungan padat, kepadatan penduduk tinggi, banyak tempat penampungan air yang tidak terurus, dan akses ke layanan kesehatan mungkin lebih terbatas, sehingga meningkatkan kerentanan. Akibatnya, risiko terjadinya wabah DBD jauh lebih tinggi di area kedua, meskipun bahayanya (keberadaan vektor) setara.

Proses analisis risiko secara umum dibagi menjadi empat tahap yang saling terkait:

1. **Identifikasi Bahaya (*Hazard Identification*):** Menentukan agen biologis, kimia, atau fisik apa yang berpotensi menyebabkan efek merugikan. Dalam konteks kita, ini adalah identifikasi spesies vektor yang relevan dan patogen yang dapat ditularkannya di suatu wilayah.
2. **Penilaian Risiko (*Risk Assessment*):** Proses evaluasi risiko terhadap kesehatan manusia sebagai akibat dari paparan terhadap bahaya. Tahap ini melibatkan analisis kuantitatif atau kualitatif terhadap probabilitas dan tingkat keparahan dampak. Ini adalah inti dari pembahasan bab ini, yang mencakup analisis data vektor, epidemiologi, dan lingkungan.
3. **Manajemen Risiko (*Risk Management*):** Proses pengambilan keputusan untuk mengurangi atau mengendalikan risiko. Setelah risiko dinilai dan diprioritaskan, manajer program (misalnya, kepala dinas kesehatan atau puskesmas) harus memilih dan mengimplementasikan intervensi yang paling tepat, seperti Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN), larvasiding, atau fogging. Proses ini juga mempertimbangkan faktor biaya, efektivitas, dan penerimaan masyarakat.

4. **Komunikasi Risiko (*Risk Communication*)**: Pertukaran informasi dan opini interaktif di antara penilai risiko, manajer risiko, dan pemangku kepentingan lainnya (termasuk masyarakat umum). Komunikasi yang efektif memastikan bahwa masyarakat memahami risiko yang ada dan perannya dalam mitigasi, seperti yang ditekankan dalam program pemberdayaan masyarakat untuk menciptakan lingkungan sehat (Fazri, 2023). Analisis risiko kesehatan masyarakat (ARKM) yang baik selalu menyertakan komponen ini untuk memastikan keberhasilan program jangka panjang (Rosdiana, 2023).

D. Variabel Lingkungan dan Epidemiologi

Penilaian risiko penyakit tular vektor tidak dapat dilakukan dalam ruang hampa; ia sangat bergantung pada integrasi data dari berbagai sumber. Dua kategori data yang paling fundamental adalah variabel lingkungan dan variabel epidemiologi. Kombinasi keduanya memungkinkan kita untuk tidak hanya memahami di mana risiko berada saat ini, tetapi juga untuk memprediksi di mana risiko akan muncul di masa depan. Variabel-variabel ini berfungsi sebagai "sensor" alami yang memberikan sinyal peringatan dini bagi manajer program kesehatan masyarakat.

Variabel lingkungan mencakup semua faktor fisik, iklim, dan geografis yang memengaruhi siklus hidup, kepadatan, dan distribusi vektor. Variabel ini bersifat dinamis dan sering kali menjadi pemicu utama peningkatan populasi vektor. Beberapa variabel lingkungan kunci meliputi:

1. **Curah Hujan**: Faktor kritis bagi banyak vektor, terutama nyamuk. Curah hujan tinggi dapat menciptakan genangan air baru yang menjadi tempat perindukan (*breeding sites*). Namun, curah hujan yang ekstrem juga dapat bersifat "membersihkan" (*flushing effect*) tempat perindukan larva. Analisis harus mempertimbangkan pola curah hujan (intensitas dan durasi), bukan hanya volume total.
2. **Suhu dan Kelembaban**: Suhu memengaruhi laju perkembangan larva menjadi dewasa, frekuensi gigitan nyamuk, dan periode inkubasi ekstrinsik patogen di dalam tubuh vektor. Kelembaban udara memengaruhi tingkat kelangsungan hidup (*survival rate*) nyamuk dewasa. Peningkatan suhu global diprediksi akan memperluas sebaran geografis penyakit seperti DBD dan malaria ke area yang sebelumnya bebas.
3. **Tata Guna Lahan (*Land Use*)**: Jenis penggunaan lahan secara langsung membentuk habitat vektor. Misalnya, area persawahan irigasi sangat ideal untuk *Anopheles*, area perkebunan karet dengan genangan di batok kelapa atau lipatan daun menjadi habitat *Aedes albopictus*, sementara urbanisasi yang tidak terencana dengan sistem drainase buruk menciptakan habitat ideal bagi *Culex quinquefasciatus*. Studi di Perbukitan Menoreh menunjukkan

bagaimana analisis penggunaan lahan dapat membantu mengidentifikasi wilayah reseptif malaria (Widartono, 2022).

4. **Ketinggian (*Altitude*):** Ketinggian tempat memengaruhi suhu dan komposisi vegetasi, yang pada gilirannya membatasi distribusi spesies vektor tertentu. Misalnya, nyamuk *Anopheles* penyebab malaria umumnya tidak ditemukan di dataran tinggi dengan suhu dingin.

Di sisi lain, variabel epidemiologi memberikan gambaran tentang status penyakit pada populasi manusia. Data ini mencerminkan interaksi antara manusia, patogen, dan vektor. Variabel epidemiologi utama yang digunakan dalam analisis risiko meliputi:

1. **Insidensi Kasus:** Jumlah kasus baru suatu penyakit dalam periode waktu tertentu di suatu populasi. Data insidensi mingguan atau bulanan dari puskesmas adalah indikator paling langsung dari transmisi yang sedang berlangsung. Peningkatan tajam insidensi adalah sinyal kuat adanya wabah.
2. **Riwayat Wabah:** Wilayah dengan riwayat wabah di masa lalu cenderung memiliki risiko lebih tinggi untuk mengalami wabah kembali. Ini bisa disebabkan oleh faktor lingkungan yang persisten, keberadaan reservoir, atau populasi yang rentan. Data historis ini sangat berharga untuk pemodelan prediktif.
3. **Kerentanan Populasi:** Meliputi kepadatan penduduk, mobilitas penduduk (misalnya, pekerja migran atau wisatawan dari daerah endemis yang masuk ke daerah reseptif), status imunitas, dan prevalensi kelompok rentan (anak-anak, ibu hamil). Sebuah wilayah mungkin memiliki vektor tetapi tidak ada kasus lokal; namun, kedatangan satu orang terinfeksi (kasus impor) ke wilayah reseptif ini dapat memicu transmisi lokal, seperti yang diwaspadai di Kabupaten Gunungkidul pasca-eliminasi malaria (Mulyawati, 2022).
4. **Kondisi Sanitasi dan Perilaku:** Faktor-faktor seperti ketersediaan air bersih, pengelolaan sampah, dan praktik kebersihan pribadi secara tidak langsung memengaruhi risiko. Lingkungan yang tidak saniter dapat meningkatkan tempat perindukan vektor mekanis seperti lalat dan kecoa, atau bahkan nyamuk (Tanjung, 2023).

Dengan mengintegrasikan kedua jenis variabel ini, seorang analis dapat membangun model yang lebih komprehensif. Sebagai contoh, dengan menggabungkan data curah hujan dari BMKG, data tata guna lahan dari citra satelit, dan data insidensi kasus mingguan dari puskesmas, kita dapat menciptakan peta dinamis yang menunjukkan "hotspot" risiko DBD di sebuah kota, memungkinkan intervensi yang lebih cepat dan tepat sasaran.

E. Data Kepadatan Vektor dan Kasus

Setelah memahami variabel lingkungan dan epidemiologi secara konseptual, langkah selanjutnya dalam analisis risiko adalah mengumpulkan dan

menganalisis data konkret di lapangan. Data kepadatan vektor dan data kasus penyakit adalah dua pilar utama yang menopang penilaian risiko. Tanpa pengukuran yang valid dan andal dari kedua komponen ini, setiap upaya analisis akan menjadi spekulatif. Sebagaimana telah diuraikan pada Bab 6 dan 7, surveilans entomologi menyediakan metode dan alat untuk mengukur kepadatan vektor, sementara surveilans epidemiologi melacak kejadian penyakit pada manusia.

Data kepadatan vektor berfungsi sebagai proksi langsung untuk tingkat bahaya (*hazard level*). Semakin tinggi kepadatan vektor kompeten di suatu area, semakin besar potensi penularan. Pengumpulan data ini harus dilakukan secara sistematis dan periodik. Beberapa metode dan indeks kunci yang digunakan antara lain:

1. **Survei Jentik:** Ini adalah metode yang paling umum dilakukan di tingkat puskesmas untuk vektor seperti *Aedes aegypti*. Petugas (sering kali dibantu oleh kader Jumantik) memeriksa tempat-tempat penampungan air di dalam dan di luar rumah. Data yang dikumpulkan kemudian diolah menjadi beberapa indeks entomologi standar (sebagaimana dibahas di Bab 7), seperti:
2. **House Index (HI):** Persentase rumah yang ditemukan positif jentik.
3. **Container Index (CI):** Persentase wadah yang ditemukan positif jentik.
4. **Breteau Index (BI):** Jumlah wadah positif jentik per 100 rumah.
5. **Angka Bebas Jentik (ABJ):** Persentase rumah yang tidak ditemukan jentik.

Indeks-indeks ini, meskipun memiliki keterbatasan, memberikan gambaran cepat mengenai tingkat risiko di tingkat komunitas. Program Juru Pemantau Jentik (Jumantik) di sekolah-sekolah, seperti yang dilakukan di Kabupaten Ende, merupakan strategi pemberdayaan masyarakat yang efektif untuk pengumpulan data sekaligus edukasi (Tokan, 2022).

1. **Survei Nyamuk Dewasa:** Untuk beberapa penyakit seperti malaria atau filariasis, atau untuk evaluasi intervensi seperti fogging, survei nyamuk dewasa lebih relevan. Metode yang digunakan bisa berupa penangkapan nyamuk hinggap (menggunakan aspirator), penangkapan dengan umpan orang (*human landing catch* - dengan prosedur etik yang ketat), atau menggunakan perangkap seperti *light trap*. Data yang dihasilkan biasanya berupa kepadatan per satuan waktu atau per perangkap (misalnya, *man-hour density*).
2. **Surveilans dengan Ovitrap:** Pemasangan ovitrap (perangkap telur) adalah cara yang sensitif untuk mendeteksi keberadaan nyamuk *Aedes* bahkan pada kepadatan rendah. *Ovitrap Index* (OI), yaitu persentase ovitrap yang positif telur, dapat menjadi indikator dini peningkatan aktivitas vektor.

Data kasus penyakit, yang diperoleh dari surveilans epidemiologi, mencerminkan dampak nyata dari bahaya vektor. Data ini memberikan

konfirmasi bahwa transmisi memang sedang terjadi. Sumber data utama adalah laporan rutin dari fasilitas layanan kesehatan, mulai dari puskesmas, klinik, hingga rumah sakit. Penting untuk membedakan beberapa jenis data kasus:

1. **Kasus Suspek, Probabel, dan Konfirmasi:** Sistem surveilans biasanya mengklasifikasikan laporan berdasarkan tingkat kepastian diagnosis. Kasus konfirmasi (misalnya, positif NS1 atau IgM/IgG untuk Dengue, atau positif mikroskopis untuk malaria) memiliki bobot paling tinggi dalam analisis.
2. **Data Pasif vs. Aktif:** Sebagian besar data berasal dari surveilans pasif, di mana fasyankes menunggu pasien datang. Dalam situasi wabah, diperlukan surveilans aktif (*case finding*), di mana petugas kesehatan proaktif mencari kasus tambahan di komunitas sekitar kasus yang sudah dilaporkan.
3. **Pemetaan Kasus (Case Mapping):** Setiap laporan kasus harus dicatat lokasinya (ideal-nya dengan koordinat geografis, atau setidaknya alamat RT/RW). Memetakan distribusi spasial kasus adalah langkah krusial untuk mengidentifikasi kluster penularan. Pengetahuan masyarakat lokal sering kali sangat penting untuk menunjang keberhasilan pencegahan penyakit (Siregar, 2021).

Integrasi kedua jenis data ini adalah kunci. Misalnya, seorang kepala puskesmas di Kota Binjai, Sumatera Utara, dapat mem-plot data BI dari survei jentik mingguan di atas peta kelurahan, lalu menumpuknya (*overlay*) dengan titik-titik lokasi kasus DBD yang dilaporkan dalam periode yang sama. Pola yang muncul—misalnya, area dengan BI tinggi yang secara konsisten juga menjadi lokasi kluster kasus—akan menjadi dasar yang kuat untuk analisis risiko dan penentuan prioritas intervensi.

F. Penyusunan Matriks Risiko

Setelah data kepadatan vektor (sebagai indikator bahaya) dan data kasus serta kerentanan populasi (sebagai indikator dampak/konsekuensi) terkumpul, langkah selanjutnya adalah mengintegrasikannya secara terstruktur. Matriks risiko adalah alat visual dan semi-kuantitatif yang sangat efektif untuk tujuan ini. Matriks ini memungkinkan para pengambil keputusan untuk membandingkan tingkat risiko di berbagai wilayah secara sistematis, mengubah data mentah yang kompleks menjadi sebuah skor risiko yang mudah dipahami dan dapat ditindaklanjuti.

Konsep dasar matriks risiko adalah memetakan dua dimensi utama: probabilitas terjadinya suatu peristiwa (diwakili oleh tingkat bahaya) dan keparahan dampak jika peristiwa itu terjadi (diwakili oleh tingkat kerentanan atau konsekuensi). Dalam konteks pengendalian vektor, kita dapat mengadaptasinya menjadi:

1. **Sumbu X (Horizontal): Tingkat Bahaya Vektor.** Ini adalah ukuran kepadatan atau aktivitas vektor di suatu wilayah. Kategori ini dapat dibuat berdasarkan indeks entomologi yang relevan.
2. **Sumbu Y (Vertikal): Tingkat Kerentanan/Dampak.** Ini adalah ukuran potensi dampak penyakit pada populasi manusia. Kategori ini dapat dibuat berdasarkan data epidemiologi (riwayat kasus) dan demografi (kepadatan penduduk).

Langkah pertama adalah mendefinisikan kategori atau tingkatan untuk setiap sumbu. Untuk menjaga agar matriks tetap praktis, biasanya digunakan tiga tingkatan: Rendah, Sedang, dan Tinggi. Kriteria untuk setiap tingkatan harus didefinisikan secara jelas dan operasional, berdasarkan standar yang ada (misalnya dari WHO atau Kemenkes) atau berdasarkan analisis data historis di wilayah tersebut.

Tabel 9.1 Contoh Kriteria dan Matriks Risiko untuk Prioritas Intervensi DBD

Tingkat Bahaya Vektor (Berdasarkan Indeks Entomologi)	Tingkat Kerentanan/Dampak (Berdasarkan Epidemiologi & Demografi)
Tinggi (Skor=3): Breteau Index (BI) > 20 ATAU Angka Bebas Jentik (ABJ) < 80%	Tinggi (Skor=3): Ada kasus DBD konfirmasi dalam 1 bulan terakhir ATAU ada riwayat KLB dalam 1 tahun terakhir ATAU kepadatan penduduk > 10.000/km ²
Sedang (Skor=2): BI 5-20 ATAU ABJ 80-95%	Sedang (Skor=2): Ada kasus suspek/probabel DBD dalam 1 bulan terakhir ATAU tidak ada kasus baru tapi ada riwayat kasus dalam 1 tahun terakhir
Rendah (Skor=1): BI < 5 ATAU ABJ > 95%	Rendah (Skor=1): Tidak ada laporan kasus dalam 1 tahun terakhir DAN kepadatan penduduk < 5.000/km ²

Setelah kriteria ditetapkan, kita dapat membangun matriks untuk menghitung skor risiko. Skor risiko dapat dihitung dengan mengalikan skor bahaya dengan skor kerentanan/dampak.

(Y) Kerentanan/Dampak	Rendah (1)	Sedang (2)	Tinggi (3)
Tinggi (3)	3 (Rendah)	6 (Tinggi)	9 (Sangat Tinggi)
Sedang (2)	2 (Rendah)	4 (Sedang)	6 (Tinggi)
Rendah (1)	1 (Sangat Rendah)	2 (Rendah)	3 (Rendah)
(X) Bahaya Vektor			

Dari matriks di atas, kita dapat mengelompokkan skor total menjadi beberapa kategori risiko. Misalnya: Skor 1-2 = Risiko Rendah (Hijau), Skor 3-4 = Risiko Sedang (Kuning), Skor >4 = Risiko Tinggi (Merah).

CONTOH

Mari kita terapkan pada tiga desa di Kecamatan Cisarua, Bogor.

Desa A: Survei jentik menemukan BI = 25 (Skor Bahaya = 3). Laporan puskesmas menunjukkan ada 2 kasus DBD konfirmasi bulan lalu (Skor Kerentanan = 3). Skor Risiko = $3 \times 3 = 9$ (Risiko Sangat Tinggi).

Desa B: Survei jentik menemukan BI = 15 (Skor Bahaya = 2). Tidak ada kasus baru, tetapi tahun lalu pernah ada kluster kecil (Skor Kerentanan = 2). Skor Risiko = $2 \times 2 = 4$ (Risiko Sedang).

Desa C: Survei jentik menemukan BI = 4 (Skor Bahaya = 1). Tidak ada riwayat kasus DBD yang signifikan (Skor Kerentanan = 1). Skor Risiko = $1 \times 1 = 1$ (Risiko Sangat Rendah).

Metode seperti ini, meskipun sederhana, memberikan dasar yang objektif untuk pengambilan keputusan, mirip dengan bagaimana *Job Safety Analysis* (JSA) digunakan dalam industri untuk mengendalikan risiko kecelakaan kerja (Balili, 2022). Matriks ini mengubah data survei dan laporan kasus menjadi sebuah peringkat yang dapat ditindaklanjuti.

G. Penentuan Prioritas Wilayah Intervensi

Tujuan akhir dari seluruh proses analisis risiko—mulai dari pengumpulan data lingkungan, epidemiologi, hingga penyusunan matriks—adalah untuk menghasilkan keputusan yang cerdas dan efisien. Penentuan prioritas wilayah intervensi adalah puncak dari analisis ini, di mana sumber daya yang terbatas (anggaran, personel, logistik) dialokasikan ke area yang paling membutuhkannya. Tanpa penentuan prioritas yang berbasis bukti, program pengendalian vektor berisiko menjadi tidak efektif, menghabiskan sumber daya

pada area berisiko rendah sementara "bom waktu" wabah terus berdetak di area berisiko tinggi.

Berdasarkan skor risiko yang dihasilkan dari matriks pada sub-bab sebelumnya, wilayah-wilayah administratif (seperti desa, kelurahan, atau bahkan tingkat RW/RT) dapat diperingkat dari risiko tertinggi hingga terendah. Peringkat ini adalah panduan utama untuk alokasi sumber daya. Wilayah dengan skor risiko tertinggi menjadi prioritas utama untuk intervensi segera dan intensif.

Proses penentuan prioritas ini dapat divisualisasikan dengan sangat efektif melalui Peta Risiko (*Risk Map*). Peta ini menggunakan sistem kode warna (misalnya, merah, kuning, hijau) untuk menampilkan tingkat risiko di setiap wilayah secara geografis. Peta Risiko bukan hanya alat analisis, tetapi juga alat komunikasi yang kuat untuk advokasi kepada para pemangku kebijakan (camat, bupati, DPRD) dan untuk mobilisasi masyarakat. Peta ini dengan jelas menunjukkan "di mana masalahnya" dan "mengapa intervensi perlu difokuskan di sana".

Sebuah peta risiko yang baik dapat menyajikan informasi kompleks secara sederhana, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 9.1 Contoh Peta Risiko Penyakit Tular Vektor di Tingkat Kecamatan

Peta pada Gambar 9.1 secara visual meringkas hasil analisis risiko, memungkinkan manajer program untuk segera mengidentifikasi desa-desa yang masuk dalam kategori merah sebagai prioritas utama.

Setelah peringkat dan peta risiko dibuat, langkah selanjutnya adalah merancang paket intervensi yang berbeda untuk setiap tingkat risiko. Ini sejalan dengan prinsip manajemen risiko yang proporsional: respons harus sepadan dengan tingkat risiko.

1. **Zona Merah (Risiko Tinggi/Sangat Tinggi):** Wilayah ini memerlukan respons cepat dan komprehensif. Intervensi dapat mencakup:
 - Penyelidikan epidemiologi segera di sekitar setiap kasus.
 - Pengendalian vektor fokus (*focal control*), seperti larvasiding kimia atau biologis dan *fogging* atau *Indoor Residual Spraying* (IRS) di radius tertentu di sekitar rumah penderita.
 - Gerakan Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) massal yang dikoordinasikan oleh puskesmas dan melibatkan seluruh elemen masyarakat.
 - Peningkatan surveilans aktif untuk menemukan kasus tambahan.
2. **Zona Kuning (Risiko Sedang):** Wilayah ini berfungsi sebagai zona penyangga dan area peringatan dini. Intervensi difokuskan pada pencegahan dan peningkatan kewaspadaan:
 - Peningkatan frekuensi surveilans jentik dan penguatan program Jumantik.
 - Kampanye komunikasi, informasi, dan edukasi (KIE) yang intensif mengenai 3M Plus.
 - Pemeriksaan dan perbaikan sanitasi lingkungan, seperti pembersihan saluran air dan pengelolaan sampah (Sawitri, 2023).
3. **Zona Hijau (Risiko Rendah):** Wilayah ini tidak boleh diabaikan, tetapi intervensi bersifat pemeliharaan dan pemantauan rutin.
 - Surveilans entomologi dan epidemiologi rutin sesuai jadwal.
 - Program edukasi kesehatan berkelanjutan di sekolah dan masyarakat.
 - Mempertahankan Angka Bebas Jentik (ABJ) pada level yang aman (>95%).

Pendekatan berjenjang ini memastikan bahwa sumber daya yang paling intensif dan mahal (seperti *fogging*) hanya digunakan di tempat yang paling membutuhkan, sementara upaya pencegahan yang lebih berkelanjutan diperkuat di semua area. Dengan demikian, analisis risiko memungkinkan program pengendalian vektor beralih dari pendekatan "satu ukuran untuk semua" yang boros menjadi strategi yang cerdas, adaptif, dan berbasis data, seperti yang telah diterapkan dalam penentuan wilayah reseptif malaria di Indonesia (Widartono, 2022; Mulyawati, 2022).

H. Rangkuman

Analisis risiko penyakit tular vektor merupakan kerangka kerja metodologis yang proaktif, bukan reaktif, untuk menerjemahkan data menjadi tindakan kesehatan masyarakat yang terukur. Pendekatan ini secara fundamental membedakan tiga konsep: bahaya (sumber potensi kerusakan, seperti keberadaan nyamuk *Aedes aegypti*), risiko (probabilitas terjadinya penyakit

akibat paparan bahaya), dan kerentanan (tingkat kerawanan populasi terhadap efek bahaya). Meskipun suatu wilayah mungkin memiliki bahaya yang sama, perbedaan faktor kerentanan—seperti kepadatan penduduk, perilaku, dan akses kesehatan—akan menghasilkan tingkat risiko yang berbeda secara signifikan. Proses analisis ini berjalan melalui empat tahap yang saling terkait: identifikasi bahaya untuk mengenali vektor dan patogen relevan; penilaian risiko untuk mengevaluasi probabilitas dan dampak; manajemen risiko untuk memilih dan mengimplementasikan intervensi seperti PSN atau fogging berdasarkan prioritas dan sumber daya; serta komunikasi risiko untuk memastikan pemahaman dan partisipasi aktif dari masyarakat. Keberhasilan penilaian risiko sangat bergantung pada integrasi data dinamis, terutama variabel lingkungan (curah hujan, suhu, tata guna lahan) yang memengaruhi biologi vektor, dan variabel epidemiologi (insidensi kasus, riwayat wabah, mobilitas penduduk) yang mencerminkan status penyakit pada manusia. Kombinasi data ini memungkinkan tidak hanya pemahaman risiko saat ini tetapi juga pemodelan prediktif untukantisipasi wabah di masa depan, menjadikan analisis risiko sebagai pilar utama dalam pengendalian vektor yang efektif dan berbasis bukti.

I. Latihan Mahasiswa

a. Essay

1. Bandingkan konsep 'bahaya' dan 'risiko' dalam konteks potensi wabah demam Chikungunya di sebuah kota. Gunakan contoh konkret untuk menjelaskan mengapa keberadaan nyamuk *Aedes albopictus* di seluruh area kota tidak secara otomatis berarti semua kecamatan memiliki risiko wabah yang sama tinggi.
2. Evaluasi pernyataan berikut: "Tahap manajemen risiko adalah bagian terpenting dari analisis risiko, karena di sinilah tindakan nyata dilakukan. Tahap identifikasi bahaya dan penilaian risiko hanyalah formalitas akademis." Argumentasikan posisi Anda dengan menelaah keterkaitan antar keempat tahap analisis risiko.
3. Analisis bagaimana perubahan tata guna lahan dari hutan menjadi area perkebunan kelapa sawit skala besar di Kalimantan dapat secara simultan memengaruhi variabel lingkungan dan epidemiologi yang relevan untuk peningkatan risiko malaria. Kaitkan analisis Anda dengan konsep habitat vektor, paparan, dan kerentanan populasi pekerja.
4. Rumuskan kerangka komunikasi risiko yang akan Anda usulkan kepada Kepala Puskesmas di sebuah daerah yang memiliki angka kepadatan jentik tinggi namun kesadaran masyarakat tentang 3M Plus rendah. Jelaskan siapa saja pemangku kepentingan yang harus dilibatkan dan pesan kunci apa yang harus disampaikan.

5. Telaah bagaimana variabel iklim seperti peningkatan suhu rata-rata dan perubahan pola curah hujan akibat pemanasan global dapat memperluas risiko geografis Demam Berdarah Dengue (DBD) ke wilayah dataran tinggi yang sebelumnya dianggap aman atau memiliki risiko rendah.

b. Pilihan Berganda

1. Keberadaan nyamuk *Anopheles* di sebuah desa dekat persawahan, terlepas dari ada atau tidaknya kasus malaria, menurut konsep analisis risiko merupakan sebuah...
 - a. Risiko
 - b. Bahaya
 - c. Kerentanan
 - d. Insidensi
2. Seorang sanitarian melakukan survei jentik dan pemetaan tempat perindukan nyamuk di wilayah kerjanya. Kegiatan ini merupakan bagian dari tahap...
 - a. Identifikasi Bahaya
 - b. Penilaian Risiko
 - c. Manajemen Risiko
 - d. Komunikasi Risiko
3. Perbedaan tingkat risiko DBD antara perumahan elit dan perkampungan padat, meskipun keduanya memiliki nyamuk *Aedes aegypti*, sebagian besar dijelaskan oleh perbedaan...
 - a. Spesies vektor
 - b. Jenis virus Dengue
 - c. Tingkat kerentanan populasi
 - d. Pola curah hujan
4. Variabel lingkungan yang paling langsung memengaruhi laju perkembangan larva nyamuk menjadi dewasa dan periode inkubasi ekstrinsik patogen di dalam tubuh vektor adalah...
 - a. Ketinggian
 - b. Tata guna lahan
 - c. Suhu
 - d. Riwayat wabah
5. Dinas Kesehatan memutuskan untuk melakukan fogging fokus di area dengan laporan peningkatan kasus DBD dalam dua minggu terakhir. Keputusan ini merupakan contoh dari tahap...
 - a. Penilaian Risiko
 - b. Komunikasi Risiko
 - c. Identifikasi Bahaya

- d. Manajemen Risiko
- 6. Data mengenai jumlah kasus baru DBD yang dilaporkan oleh puskesmas setiap minggu di suatu kabupaten tergolong sebagai...
 - a. Variabel lingkungan
 - b. Variabel kerentanan
 - c. Variabel epidemiologi
 - d. Variabel manajemen
- 7. Tujuan utama dari komunikasi risiko dalam pengendalian penyakit tular vektor adalah...
 - a. Menghukum warga yang tidak melakukan PSN
 - b. Memastikan masyarakat memahami risiko dan perannya dalam mitigasi
 - c. Mengumumkan jumlah korban jiwa untuk menimbulkan kepanikan
 - d. Mempromosikan produk insektisida komersial
- 8. Studi yang mengaitkan perluasan area persawahan irigasi dengan peningkatan kasus malaria di suatu daerah adalah contoh analisis yang mengintegrasikan...
 - a. Tata guna lahan dan insidensi kasus
 - b. Suhu dan riwayat wabah
 - c. Curah hujan dan kepadatan penduduk
 - d. Ketinggian dan status gizi
- 9. Manakah dari berikut ini yang BUKAN merupakan faktor yang menentukan kerentanan suatu populasi terhadap penyakit tular vektor?
 - a. Ketiadaan imunitas kelompok
 - b. Keberadaan vektor di lingkungan
 - c. Perilaku masyarakat terkait kebersihan lingkungan
 - d. Akses terhadap fasilitas layanan kesehatan
- 10. Pendekatan analisis risiko dalam pengendalian vektor disebut proaktif karena bertujuan untuk...
 - a. Menghukum masyarakat setelah wabah terjadi
 - b. Mengantisipasi dan memitigasi potensi penularan sebelum meluas
 - c. Menghitung jumlah kematian akibat wabah secara akurat
 - d. Mengobati pasien yang sudah terinfeksi di rumah sakit

c. Soal Project/Studi Kasus

1. Anda adalah kepala seksi Pencegahan dan Pengendalian Penyakit (P2P) di Dinas Kesehatan Kabupaten X. Data BMKG menunjukkan curah hujan di atas normal selama tiga minggu berturut-turut. Laporan dari kader jumentik di beberapa kecamatan mengindikasikan peningkatan tajam tempat perindukan dan populasi nyamuk dewasa. Namun, laporan insidensi kasus DBD dari puskesmas masih landai. Berdasarkan kerangka

analisis risiko, rumuskan langkah-langkah proaktif yang akan Anda usulkan dalam rapat koordinasi internal untuk mengantisipasi potensi lonjakan kasus dalam 2-4 minggu ke depan. Fokus pada tahap Penilaian, Manajemen, dan Komunikasi Risiko.

2. Sebuah perusahaan properti berencana membangun kawasan ekowisata dan vila di area perbukitan yang berbatasan langsung dengan cagar alam di Jawa Barat. Wilayah ini secara historis dikenal sebagai daerah reseptif malaria, meskipun tidak ada pemukiman padat di sana. Dalam proposalnya, pengembang mengklaim proyek ini "berisiko rendah" karena akan dibangun dengan standar modern dan saat ini tidak ada kasus penyakit. Sebagai ahli kesehatan masyarakat yang diminta pendapat oleh pemerintah daerah, susunlah sebuah memo analisis singkat. Gunakan konsep 'bahaya', 'risiko', dan 'kerentanan' untuk menjelaskan mengapa klaim pengembang tersebut keliru dan potensi risiko di masa depan justru sangat tinggi. Rekomendasikan jenis data apa yang harus dikumpulkan sebagai bagian dari analisis risiko yang komprehensif sebelum izin diberikan.

BAB 10

PENGENDALIAN LINGKUNGAN

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah menyelesaikan pembahasan pada bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan perbedaan fundamental antara modifikasi lingkungan dan manipulasi lingkungan dalam konteks pengendalian vektor, beserta contoh aplikasinya di Indonesia.
2. Menerapkan konsep *source reduction* dalam merancang kerangka program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) 3M Plus yang disesuaikan dengan karakteristik sosial-ekonomi sebuah komunitas target.
3. Menentukan prioritas intervensi pada sistem sanitasi dan drainase untuk mengendalikan populasi nyamuk *Culex sp.* pada sebuah studi kasus kawasan permukiman padat penduduk.
4. Memodifikasi sebuah model pengelolaan sampah skala Rukun Warga (RW) untuk mengeliminasi habitat potensial bagi vektor lalat (*Musca domestica*) dan tikus (*Rattus norvegicus*).
5. Mengimplementasikan skema sederhana modifikasi habitat untuk mengurangi risiko penularan penyakit tular vektor di area transisi antara permukiman dan perkebunan.

B. Pengantar

Setiap musim penghujan tiba, ruang-ruang berita dan bangsal perawatan anak di banyak kota di Indonesia kembali dihadapkan pada realitas yang sama: lonjakan kasus Demam Berdarah Dengue (DBD). Asap insektisida dari kegiatan *fogging* yang mengepul di gang-gang sempit seolah menjadi ritual musiman, namun angka kesakitan seringkali tak kunjung melandai secara permanen. Fenomena ini menggarisbawahi sebuah kebenaran krusial dalam kesehatan masyarakat: intervensi yang hanya menysar vektor dewasa (nyamuk terbang) tanpa menyentuh sumbernya adalah upaya yang mahal, tidak berkelanjutan, dan seringkali terlambat. Pertarungan sesungguhnya melawan vektor penyakit tidak hanya terjadi saat wabah merebak, melainkan dalam senyap, setiap hari, di talang air yang tersumbat, di ban bekas yang tergenang air, atau di tumpukan sampah organik di sudut pasar. Di sinilah urgensi pengendalian lingkungan sebagai tulang punggung program pengendalian vektor modern menemukan relevansinya yang paling mendesak. Bagi seorang calon ahli kesehatan masyarakat, memahami dan mampu menerapkan prinsip-prinsip pengendalian

lingkungan berarti beralih dari paradigma reaktif (menunggu kasus) menjadi proaktif (mencegah habitat).

Pengendalian lingkungan, pada hakikatnya, adalah seni dan ilmu untuk membuat lingkungan tidak ramah bagi kehidupan dan perkembangbiakan vektor. Pendekatan ini memindahkan fokus dari "membunuh" menjadi "mencegah". Konsep utamanya adalah *source reduction*, atau eliminasi tempat perindukan. Sebagai contoh, keberhasilan beberapa kelurahan di Kota Yogyakarta menekan angka DBD hingga nol kasus selama beberapa tahun berturut-turut tidak dicapai melalui *fogging* massal, melainkan melalui gerakan masif Juru Pemantau Jentik (Jumantik) yang dikoordinasi hingga tingkat dasawisma. Setiap rumah secara rutin memastikan tidak ada genangan air yang menjadi sarang nyamuk *Aedes aegypti*. Implikasinya sangat mendalam: seorang praktisi kesehatan masyarakat yang efektif bukanlah sekadar operator teknis, melainkan seorang fasilitator komunitas, perancang sistem, dan edukator yang mampu mengubah perilaku kolektif untuk menciptakan lingkungan yang sehat secara mandiri. Kompetensi ini jauh lebih berharga dan berdampak jangka panjang dibandingkan sekadar kemampuan menekan pelatuk mesin *fogging*.

Untuk membekali Anda dengan kompetensi tersebut, bab ini akan membedah secara sistematis berbagai strategi pengendalian lingkungan. Pembahasan akan diawali dengan fondasi utamanya, yaitu konsep *source reduction* dan manifestasinya dalam program nasional yang telah kita kenal, seperti PSN dan Gerakan 3M Plus. Selanjutnya, kita akan beralih ke aplikasi praktis dalam pengelolaan sanitasi dan drainase, yang seringkali menjadi sumber masalah tersembunyi di kawasan urban dan rural. Bab ini juga akan membahas secara mendalam bagaimana pengelolaan sampah dan habitat yang tidak memadai dapat menciptakan "surga" bagi vektor seperti lalat dan tikus, serta bagaimana kita dapat mengintervensinya secara efektif pada skala rumah tangga hingga komunal. Sebagai penutup, kita akan membedakan dan mempelajari cara menerapkan dua pendekatan jangka panjang yang lebih permanen, yaitu modifikasi dan manipulasi lingkungan, untuk menciptakan perubahan ekologis yang berkelanjutan dalam menekan populasi vektor.

C. Konsep Source Reduction

Dalam hierarki strategi pengendalian vektor, *source reduction* atau reduksi sumber perindukan menempati posisi paling fundamental dan strategis. Konsep ini didefinisikan sebagai segala bentuk tindakan yang bertujuan untuk menghilangkan atau mengurangi secara permanen tempat-tempat perkembangbiakan (habitat larva) vektor sebelum mereka dapat berkembang menjadi stadium dewasa yang mampu menularkan penyakit. Pendekatan ini merupakan antitesis dari strategi reaktif yang berfokus pada pembunuhan vektor dewasa, seperti pengasapan (*fogging*), yang seringkali hanya memberikan

solusi sesaat. *Source reduction* menyerang titik terlemah dalam siklus hidup vektor, yaitu stadium pralelayang (telur, larva, pupa) yang mobilitasnya terbatas dan sangat bergantung pada kondisi mikrohabitat yang spesifik. Dengan menghilangkan "pabrik" penghasil vektor, kita secara proaktif memutus rantai penularan penyakit dari akarnya, bukan sekadar memangkas populasinya secara temporer.

Prinsip utama di balik *source reduction* adalah modifikasi lingkungan yang membuatnya tidak lagi kondusif bagi vektor untuk bertelur dan berkembang. Di Indonesia, aplikasi paling relevan dari konsep ini adalah dalam pengendalian demam berdarah dengue (DBD), yang vektornya, nyamuk *Aedes aegypti*, memiliki preferensi kuat untuk berkembang biak di dalam wadah-wadah buatan manusia (*man-made containers*) di sekitar tempat tinggal. Contoh konkret *source reduction* untuk *Aedes aegypti* meliputi: menguras bak mandi dan tempat penampungan air minimal seminggu sekali, menutup rapat-rapat tempayan air, mengubur atau mendaur ulang barang bekas seperti ban, kaleng, dan botol plastik yang berpotensi menampung air hujan (Sawitri, 2023). Setiap tindakan ini secara langsung mengeliminasi habitat larva. Keberhasilan program pengendalian DBD di Kota Surabaya pada dekade terakhir, yang menekankan pada pemberdayaan masyarakat melalui kader pemantau jentik, adalah bukti nyata efektivitas pendekatan ini dibandingkan ketergantungan pada *fogging*.

DEFINISI

Source Reduction (Reduksi Sumber Perindukan) adalah strategi pengendalian vektor yang berfokus pada eliminasi atau modifikasi habitat perkembangbiakan vektor (tempat bertelur dan berkembangnya larva/pupa) untuk mencegah munculnya vektor dewasa. Ini adalah pendekatan proaktif dan preventif.

Implikasi dari penerapan *source reduction* sangat signifikan bagi program kesehatan masyarakat. Pertama, ia bersifat berkelanjutan dan seringkali lebih hemat biaya dalam jangka panjang dibandingkan intervensi kimiawi berulang. Kedua, ia secara inheren mendorong pemberdayaan masyarakat, karena sebagian besar tempat perindukan berada di lingkungan privat dan membutuhkan partisipasi aktif dari setiap individu dan keluarga (Fazri, 2023). Tantangannya adalah mengubah perilaku, yang membutuhkan edukasi berkelanjutan, komunikasi risiko yang efektif, dan sistem pemantauan partisipatif. Bagi seorang ahli kesehatan masyarakat, kemampuan untuk memetakan habitat potensial, merancang intervensi *source reduction* yang sesuai dengan konteks sosial-budaya, dan memfasilitasi gerakan komunitas adalah kompetensi kunci yang membedakan program pengendalian vektor yang

berhasil dan yang gagal. Strategi ini menggeser paradigma dari "menunggu dan menyemprot" menjadi "mencari dan memberantas" sumbernya.

D. Program PSN dan 3M Plus

Program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) dengan slogan 3M Plus adalah manifestasi kebijakan nasional Indonesia dalam menerapkan konsep *source reduction* secara terstruktur dan masif, terutama untuk pengendalian penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD). Program ini merupakan tulang punggung upaya pencegahan DBD di tingkat komunitas dan dirancang untuk menjadi gerakan yang berbasis pada partisipasi aktif masyarakat. Esensi dari program ini adalah mengubah pengetahuan tentang siklus hidup nyamuk *Aedes aegypti* menjadi tindakan nyata yang dilakukan secara rutin oleh setiap rumah tangga. PSN 3M Plus secara eksplisit mengalihkan fokus dari pengendalian vektor dewasa ke eliminasi tempat perindukan, sejalan dengan prinsip pengendalian lingkungan yang berkelanjutan. Program ini adalah contoh penerapan teori kesehatan masyarakat ke dalam praktik lapangan yang dapat diukur dan dievaluasi.

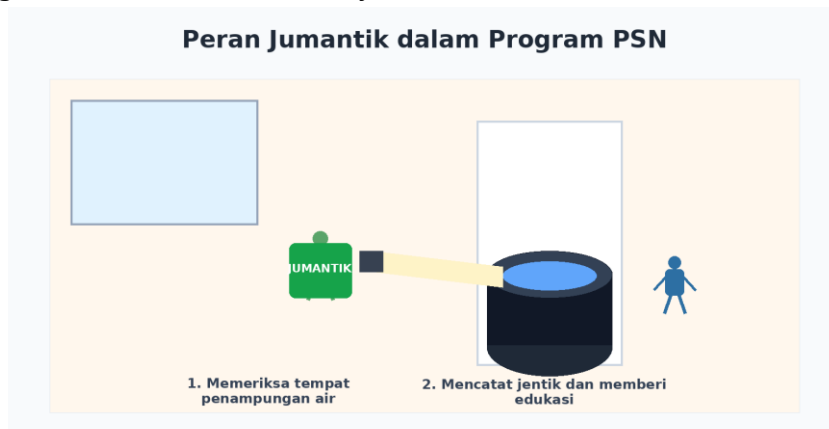
Komponen inti dari program ini adalah "3M", yang merupakan akronim dari tiga tindakan utama:

1. **Menguras:** Menguras dan membersihkan tempat-tempat penampungan air seperti bak mandi, tempayan, drum, dan ember secara teratur, idealnya seminggu sekali. Tindakan ini bertujuan untuk membuang telur dan jentik nyamuk yang mungkin sudah ada serta membersihkan dinding bagian dalam wadah yang sering menjadi tempat nyamuk meletakkan telurnya.
2. **Menutup:** Menutup rapat semua wadah penampungan air agar nyamuk tidak dapat masuk dan meletakkan telurnya. Ini berlaku untuk tempayan, drum air, dan wadah lainnya.
3. **Mendaur ulang:** Memanfaatkan kembali atau mendaur ulang barang-barang bekas yang berpotensi menjadi tempat perkembangbiakan nyamuk, seperti ban bekas, botol plastik, dan kaleng. Jika tidak dapat didaur ulang, barang-barang ini harus dikubur atau dibuang dengan cara yang aman (Sawitri, 2023). Tindakan ini secara efektif mengurangi jumlah habitat potensial di sekitar rumah.

Konsep "Plus" pada 3M Plus merujuk pada berbagai bentuk upaya pencegahan tambahan yang dapat disesuaikan dengan kondisi lokal. Upaya "Plus" ini meliputi: a) memelihara ikan pemakan jentik di kolam atau bak air, b) menggunakan larvasida yang aman pada tempat air yang sulit dikuras, c) menghindari kebiasaan menggantung pakaian di dalam rumah yang bisa menjadi tempat istirahat nyamuk, d) menggunakan kelambu saat tidur, e) memasang kawat kasa pada ventilasi rumah, dan f) mengaplikasikan losion anti-

nyamuk. Pendekatan "Plus" ini memberikan fleksibilitas dan melengkapi tiga tindakan utama, yang akan dibahas lebih detail pada Bab 11 dan Bab 12.

Implementasi PSN 3M Plus di lapangan sangat bergantung pada struktur sosial dan kelembagaan di tingkat lokal. Di banyak daerah di Indonesia, keberhasilan program ini dimotori oleh Juru Pemantau Jentik (Jumantik), yaitu kader masyarakat (biasanya ibu-ibu PKK) yang secara sukarela bertugas untuk memantau, mengingatkan, dan mencatat keberadaan jentik di rumah-rumah warga di lingkungannya. Keberadaan Jumantik yang aktif, didukung oleh ketua RT/RW dan kepala desa/lurah yang peduli, menjadi faktor penentu keberhasilan. Program seperti "Satu Rumah Satu Jumantik" yang digalakkan di beberapa kota bertujuan untuk menumbuhkan tanggung jawab pada setiap keluarga untuk memeriksa rumahnya sendiri.



Gambar 10.1 Peran Juru Pemantau Jentik (Jumantik) dalam program PSN

Gambar tersebut mengilustrasikan interaksi langsung antara kader kesehatan dan warga, yang merupakan inti dari pemberdayaan masyarakat dalam pengendalian vektor. Keberhasilan program ini tidak diukur dari seberapa banyak insektisida yang disemprotkan, melainkan dari Angka Bebas Jentik (ABJ) yang tinggi, yang mencerminkan perubahan perilaku kolektif yang berkelanjutan (Fazri, 2023).

E. Pengelolaan Sanitasi dan Drainase

Pengelolaan sanitasi dan sistem drainase merupakan komponen krusial dalam pengendalian lingkungan yang seringkali terabaikan, namun memiliki dampak besar terhadap populasi beberapa jenis vektor penting. Jika *source reduction* untuk *Aedes aegypti* berfokus pada air bersih di dalam wadah, maka pengelolaan sanitasi dan drainase menasar vektor yang berkembang biak di air kotor dan lingkungan yang tergenang. Vektor utama yang terkait erat dengan kondisi ini adalah nyamuk dari genus *Culex* (vektor filariasis dan Japanese Encephalitis) dan lalat rumah (*Musca domestica*, vektor mekanis berbagai penyakit enterik). Buruknya sanitasi dasar dan sistem drainase yang tidak

berfungsi menciptakan habitat perkembangbiakan yang luas dan sulit dikendalikan, terutama di kawasan permukiman padat penduduk.

Sistem drainase yang buruk—ditandai oleh selokan terbuka yang tersumbat oleh sampah, sedimentasi, dan memiliki aliran yang lambat atau stagnan—adalah "surga" bagi nyamuk *Culex quinquefasciatus*. Nyamuk ini memiliki preferensi kuat untuk bertelur di air yang kaya akan bahan organik, seperti air comberan dari rumah tangga. Di banyak kota besar di Indonesia, seperti Jakarta dan Makassar, selokan-selokan di perkampungan padat berubah menjadi kolam-kolam permanen yang produktif menghasilkan jutaan nyamuk setiap hari. Kondisi ini diperparah oleh kebiasaan masyarakat membuang sampah langsung ke selokan, yang tidak hanya menyumbat aliran tetapi juga menambah "nutrisi" bagi larva nyamuk. Analisis terhadap sanitasi dasar lingkungan telah menunjukkan korelasi kuat dengan kejadian penyakit, seperti diare (Kurniawati, 2021), dan logika yang sama berlaku untuk penyakit tular vektor yang berkembang biak di lingkungan serupa.

Di sisi lain, pengelolaan sanitasi yang tidak memadai, seperti sistem pembuangan air limbah domestik yang tidak terkelola dan praktik buang air besar sembarangan, juga berkontribusi. Septic tank yang tidak standar, bocor, atau meluap dapat menjadi sumber genangan air kotor yang disukai *Culex*. Demikian pula, tumpukan sampah organik yang basah dan membusuk akibat sanitasi yang buruk menjadi media ideal bagi lalat untuk bertelur dan berkembangnya belatung. Oleh karena itu, intervensi yang efektif harus bersifat terintegrasi, menggabungkan perbaikan infrastruktur fisik dengan perubahan perilaku masyarakat.

Tabel berikut menyajikan contoh penerapan analisis untuk menentukan prioritas intervensi berdasarkan kondisi sanitasi dan drainase yang berbeda.

Tabel 10.1 Contoh Habitat Perkembangbiakan Vektor pada Berbagai Kondisi Sanitasi dan Drainase di Lingkungan Permukiman

Kondisi Lingkungan	Vektor Dominan	Contoh Habitat Spesifik	Penyakit Terkait	Intervensi Prioritas
Sanitasi buruk, drainase terbuka & tersumbat	<i>Culex sp.</i> , <i>Musca domestica</i>	Selokan mampet, genangan air limbah, tumpukan sampah basah	Filariasis, Diare, Disentri	Kerja bakti rutin pembersihan drainase, pembangunan TPS terpadu, edukasi PHBS.

Sanitasi sedang, drainase tertutup	<i>Culex sp.</i>	Bak kontrol drainase yang tergenang, saluran bawah tanah yang tersumbat	Filariasis, Japanese Encephalitis	Pembersihan dan <i>flushing</i> drainase secara periodik oleh dinas terkait, inspeksi bak kontrol.
Sanitasi baik, drainase lancar	<i>Aedes sp.</i>	Talang air tersumbat daun, pot bunga, barang bekas di halaman	Demam Berdarah Dengue (DBD)	Fokus pada PSN 3M Plus di lingkungan rumah masing-masing, pemantauan jentik mandiri.
Sistem sanitasi on-site tidak standar	<i>Culex sp.</i>	Rembesan atau luapan <i>septic tank</i> , cubluk yang terbuka	Filariasis, Penyakit enterik	Perbaikan/pembangunan <i>septic tank</i> komunal atau individual yang kedap air, program sanitasi total berbasis masyarakat (STBM).

Interpretasi tabel di atas menunjukkan bahwa tidak ada satu solusi tunggal untuk semua masalah. Seorang sanitarian harus mampu melakukan "diagnosis" lingkungan untuk menentukan vektor mana yang menjadi prioritas dan intervensi apa yang paling tepat guna, apakah itu perbaikan fisik drainase, pengelolaan limbah, atau edukasi masyarakat. Kolaborasi lintas sektor antara dinas kesehatan, dinas pekerjaan umum, dan badan lingkungan hidup menjadi mutlak diperlukan untuk mengatasi masalah ini secara komprehensif (Sriyanti, 2023).

F. Pengelolaan Sampah dan Habitat

Pengelolaan sampah yang tidak memadai merupakan salah satu faktor lingkungan utama yang menciptakan dan mempertahankan populasi vektor di lingkungan manusia. Sampah tidak hanya merusak estetika dan mencemari lingkungan, tetapi juga secara langsung menyediakan tiga kebutuhan esensial bagi vektor: tempat berlindung (*shelter*), sumber makanan (*food source*), dan

tempat perkembangbiakan (*breeding site*). Oleh karena itu, setiap program pengendalian vektor yang komprehensif harus mencakup strategi pengelolaan sampah yang efektif, mulai dari tingkat rumah tangga hingga tempat pemrosesan akhir (TPA). Kegagalan dalam mengelola sampah akan membuat intervensi lain, seperti penyemprotan insektisida, menjadi tidak efisien dan sia-sia.

Berbagai jenis vektor memanfaatkan sampah dengan cara yang berbeda. Lalat rumah (*Musca domestica*) dan lalat hijau (*Chrysomya megacephala*) adalah yang paling jelas diuntungkan. Tumpukan sampah organik yang basah dan membusuk, seperti sisa makanan di pasar tradisional atau di sekitar tempat sampah yang tidak terangkut, adalah media ideal bagi lalat untuk meletakkan telur. Ribuan belatung dapat berkembang dalam satu kilogram sampah organik, menciptakan ledakan populasi lalat dewasa yang kemudian menjadi vektor mekanis bagi agen penyakit seperti bakteri *Shigella* dan *Salmonella*. Selain lalat, sampah juga menjadi surga bagi tikus. Tumpukan sampah menyediakan tempat persembunyian yang aman dari predator dan sumber makanan yang melimpah, memungkinkan populasi tikus (*Rattus norvegicus* dan *Rattus rattus*) berkembang pesat. Tikus, sebagaimana dibahas pada Bab 5, berperan sebagai reservoir untuk penyakit pes dan leptospirosis.

CONTOH

Di area pasar tradisional seperti Pasar Gede di Solo atau Pasar Badung di Denpasar, sebelum program revitalisasi dan perbaikan manajemen sampah, masalah lalat dan tikus seringkali menjadi pemandangan umum. Tumpukan sampah sayuran dan sisa daging yang dibiarkan menginap semalaman menjadi "restoran" dan "hotel" bagi kedua vektor tersebut. Intervensi yang berhasil di lokasi-lokasi ini tidak hanya penyemprotan, melainkan perubahan sistem: pengangkutan sampah minimal dua kali sehari, penyediaan tempat sampah tertutup yang terpilah, dan pembuatan fasilitas pengolahan kompos untuk sampah organik.

Selain sebagai sumber makanan dan tempat berlindung, sampah anorganik juga berperan penting sebagai tempat perindukan nyamuk. Sampah yang dapat menampung air, seperti ban bekas, kaleng, botol, gelas plastik, dan bahkan kantong kresek yang tergeletak di tanah, menjadi habitat mikro yang sempurna bagi nyamuk *Aedes aegypti* untuk berkembang biak. Sebuah ban bekas yang terisi air hujan dapat menghasilkan ratusan nyamuk dewasa. Upaya pengelolaan sampah plastik dan non-organik lainnya menjadi krusial untuk memutus siklus hidup nyamuk ini (Rahmayani, 2021). Oleh karena itu, gerakan 3M (Menguras, Menutup, Mendaur ulang) dalam program PSN sangat relevan dengan pengelolaan sampah. Konsep *collaborative governance* dalam pengelolaan sampah, yang melibatkan pemerintah, swasta, dan masyarakat seperti yang

dianalisis di Kota Tarakan, menawarkan model yang menjanjikan untuk mengatasi masalah ini secara holistik (Harmana, 2021). Program seperti "Bank Sampah" yang mendorong pemilahan dan daur ulang di tingkat komunitas tidak hanya memiliki nilai ekonomi, tetapi juga merupakan intervensi kesehatan masyarakat yang sangat efektif untuk mengurangi habitat vektor (Fazri, 2023; Sawitri, 2023).

G. Modifikasi dan Manipulasi Lingkungan

Pada tingkat intervensi yang lebih tinggi dan berskala lebih luas, pengendalian lingkungan dapat dikategorikan menjadi dua pendekatan strategis: modifikasi lingkungan dan manipulasi lingkungan. Meskipun keduanya bertujuan mengubah lingkungan agar tidak ramah bagi vektor, keduanya berbeda secara fundamental dalam hal permanensi, skala, dan implikasi sumber daya. Pemahaman yang jelas tentang perbedaan ini penting bagi perencana program kesehatan masyarakat untuk memilih strategi jangka panjang yang paling tepat. Sebagaimana telah disinggung pada Bab 9 tentang analisis risiko, pemilihan strategi ini harus didasarkan pada data surveilans, analisis wilayah reseptif, dan pertimbangan biaya-manfaat.

Modifikasi lingkungan merujuk pada perubahan fisik yang bersifat **permanen** pada habitat untuk menghilangkan atau mengurangi tempat perindukan vektor secara definitif. Intervensi ini biasanya berbiaya awal tinggi, membutuhkan perencanaan teknis yang matang, dan seringkali melibatkan proyek infrastruktur skala besar. Karena dampaknya yang permanen dan berpotensi mengubah ekosistem, proyek modifikasi lingkungan wajib melalui studi Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) untuk memastikan bahwa solusi yang ditawarkan tidak menimbulkan masalah lingkungan baru yang lebih besar (Herlina, 2021; Febriyanti, 2021).

1. **Contoh di Indonesia:**
2. **Pembangunan sistem drainase bawah tanah** di kawasan perkotaan untuk menggantikan selokan terbuka yang menjadi sarang nyamuk *Culex*.
3. **Penimbunan (*land filling*)** pada area rawa atau genangan air permanen di sekitar permukiman untuk menghilangkan habitat larva nyamuk malaria atau filariasis.
4. **Pembangunan tanggul dan pintu air** di daerah pesisir untuk mengontrol intrusi air asin, yang dapat mengubah karakteristik habitat nyamuk *Anopheles sundaicus* (vektor malaria).
5. **Pelapisan beton (*lining*)** pada saluran irigasi tanah di area persawahan untuk menghilangkan vegetasi tepi dan mempercepat aliran air, sehingga mengurangi tempat perindukan *Anopheles aconitus* di beberapa wilayah endemis malaria di Jawa (Widartono, 2022).

Manipulasi lingkungan, di sisi lain, adalah tindakan yang bersifat **temporer** dan berulang untuk mengelola habitat agar tidak produktif bagi vektor. Intervensi ini cenderung lebih murah dalam sekali pelaksanaan, tidak mengubah struktur fisik lingkungan secara permanen, namun membutuhkan upaya dan sumber daya yang berkelanjutan.

1. Contoh di Indonesia:

- 2. Pembersihan gulma dan vegetasi air** secara periodik dari danau, tepi sungai, atau saluran irigasi untuk menghilangkan tempat istirahat dan perlindungan larva nyamuk *Anopheles* dan *Mansonia*.
- 3. Penerapan sistem irigasi berselang (intermittent irrigation)** pada lahan sawah, di mana sawah dikeringkan secara periodik selama beberapa hari. Hal ini mengganggu siklus hidup larva nyamuk tanpa mengurangi produktivitas padi secara signifikan.
- 4. Flushing atau penggelontoran air** dengan debit tinggi secara mingguan pada sistem drainase atau saluran air kecil untuk menyapu bersih telur dan larva nyamuk yang ada.
- 5. Mengubah tingkat kadar garam air** di tambak atau laguna payau secara periodik untuk mengganggu siklus hidup nyamuk yang spesifik pada salinitas tertentu.

PERHATIAN

Pemilihan antara modifikasi dan manipulasi harus mempertimbangkan banyak faktor. Modifikasi lingkungan, meskipun solutif secara permanen, bisa sangat mahal dan berisiko merusak ekologi. Manipulasi lebih fleksibel dan murah, tetapi membutuhkan komitmen jangka panjang dalam hal tenaga kerja dan operasional. Di banyak situasi, kombinasi keduanya, yang didahului oleh *source reduction* di tingkat rumah tangga, merupakan strategi yang paling efektif dan realistis (Sriyanti, 2023). Pengendalian lingkungan adalah upaya marathon, bukan sprint.

H. Rangkuman

Pengendalian lingkungan merupakan pendekatan proaktif dan berkelanjutan dalam manajemen vektor yang memprioritaskan eliminasi atau modifikasi habitat perkembangbiakan. Konsep sentral dalam pendekatan ini adalah *source reduction* atau reduksi sumber perindukan, yang secara strategis menargetkan stadium pralelayang vektor (telur, larva, pupa) yang mobilitasnya terbatas. Strategi ini merupakan antitesis dari tindakan reaktif seperti pengasapan (*fogging*) yang hanya menyasar vektor dewasa secara temporer, karena *source reduction* bertujuan memutus siklus hidup dari akarnya sehingga mencegah kemunculan vektor dewasa. Di Indonesia, manifestasi kebijakan paling signifikan dari konsep ini adalah program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) dengan

slogan 3M Plus (Menguras, Menutup, Mendaur ulang, serta upaya pencegahan tambahan), yang menjadi tulang punggung pengendalian demam berdarah dengue (DBD). Keberhasilan program ini tidak diukur dari volume insektisida yang digunakan, melainkan dari tingginya Angka Bebas Jentik (ABJ) yang mencerminkan perubahan perilaku masyarakat. Implementasinya sangat bergantung pada pemberdayaan komunitas, yang seringkali difasilitasi oleh kader seperti Juru Pemantau Jentik (Jumantik). Peran mereka krusial dalam mengedukasi, memotivasi, dan memantau partisipasi warga. Lebih luas lagi, pengendalian lingkungan juga mencakup pengelolaan sanitasi dan sistem drainase yang buruk, yang menjadi habitat bagi vektor lain seperti nyamuk *Culex* dan lalat rumah. Dengan demikian, pengendalian lingkungan menggeser paradigma dari "menunggu dan menyemprot" menjadi "mencari dan memberantas sumbernya", menempatkan partisipasi masyarakat dan keberlanjutan sebagai pilar utama program kesehatan masyarakat.

I. Latihan Mahasiswa

a. Essay

1. Evaluasilah strategi *source reduction* melalui program PSN 3M Plus dibandingkan dengan pengendalian kimiawi seperti *fogging* dalam konteks pengendalian DBD jangka panjang di Indonesia. Analisis Anda harus mencakup aspek keberlanjutan, efektivitas biaya, dan dampak terhadap perilaku masyarakat.
2. Analisislah peran Juru Pemantau Jentik (Jumantik) dalam program PSN. Mengapa peran mereka dianggap lebih dari sekadar pengumpul data Angka Bebas Jentik (ABJ), melainkan sebagai agen perubahan perilaku dan fasilitator pemberdayaan masyarakat di tingkat akar rumput?
3. Berdasarkan tantangan utama dalam penerapan *source reduction* yaitu mengubah perilaku, rumuskan sebuah kerangka intervensi berbasis komunitas untuk meningkatkan kepatuhan terhadap praktik 3M Plus di sebuah wilayah urban dengan tingkat partisipasi warga yang rendah.
4. Bandingkan dan kontraskan target lingkungan spesifik untuk pengendalian vektor *Aedes aegypti* melalui PSN 3M Plus dengan target lingkungan untuk pengendalian vektor *Culex* sp. yang berkembang biak di lingkungan dengan sanitasi dan drainase yang buruk.
5. Argumentasikan mengapa pendekatan "Plus" dalam slogan 3M Plus bersifat krusial untuk adaptasi program pengendalian vektor di berbagai konteks sosial-ekonomi dan geografis yang berbeda di Indonesia. Berikan contoh konkret bagaimana komponen "Plus" dapat disesuaikan untuk wilayah pesisir dan wilayah perkotaan padat.

b. Pilihan Berganda

1. Apakah definisi yang paling tepat untuk konsep *source reduction* dalam pengendalian vektor?
 - a. Penyemprotan insektisida di area yang dicurigai sebagai sarang nyamuk dewasa.
 - b. Penggunaan kelambu dan losion anti-nyamuk untuk mencegah gigitan vektor.
 - c. Eliminasi atau modifikasi habitat perkembangbiakan untuk mencegah munculnya vektor dewasa.
 - d. Pemasangan perangkat untuk menangkap vektor dewasa di sekitar pemukiman.
2. Titik terlemah dalam siklus hidup vektor yang menjadi target utama strategi *source reduction* adalah...
 - a. Stadium dewasa yang aktif mencari mangsa.
 - b. Stadium pralelayang (telur, larva, pupa) yang mobilitasnya terbatas.
 - c. Vektor betina dewasa sesaat setelah menghisap darah.
 - d. Vektor jantan dewasa saat berada di tempat istirahat.
3. Program PSN 3M Plus di Indonesia merupakan manifestasi kebijakan dari konsep *source reduction* yang secara spesifik menargetkan pengendalian penyakit...
 - a. Malaria
 - b. Filariasis
 - c. Demam Berdarah Dengue (DBD)
 - d. Japanese Encephalitis
4. Tindakan "Menguras" dalam program 3M bertujuan utama untuk...
 - a. Menghemat penggunaan air bersih di rumah tangga.
 - b. Membuang telur dan jentik nyamuk dari tempat penampungan air.
 - c. Mendinginkan suhu air agar nyamuk tidak mau bertelur.
 - d. Membersihkan lumut untuk alasan estetika.
5. Mengapa menutup rapat tempayan air merupakan bagian penting dari program 3M?
 - a. Agar air tidak terkontaminasi debu dan kotoran.
 - b. Agar nyamuk dewasa tidak dapat masuk untuk meletakkan telurnya.
 - c. Agar penguapan air dapat diminimalkan.
 - d. Agar anak-anak tidak bermain air di dalamnya.
6. Berikut ini yang merupakan contoh konkret dari tindakan "Mendaur ulang" dalam konteks PSN 3M adalah...
 - a. Menggunakan kembali botol plastik sebagai pot tanaman.
 - b. Membakar sampah plastik di halaman belakang rumah.
 - c. Menggantung pakaian bekas pakai di dalam kamar.

- d. Membuang kaleng bekas ke selokan terdekat.
- 7. Konsep "Plus" dalam slogan 3M Plus merujuk pada...
 - a. Hukuman tambahan bagi warga yang tidak melakukan 3M.
 - b. Insentif finansial tambahan bagi kader Jumantik.
 - c. Upaya pengendalian tambahan yang bersifat fleksibel dan melengkapi 3M.
 - d. Penambahan jenis insektisida yang digunakan saat *fogging*.
- 8. Indikator keberhasilan utama dari program PSN 3M Plus di tingkat komunitas adalah...
 - a. Jumlah kegiatan *fogging* yang dilakukan per tahun.
 - b. Ketersediaan obat-obatan DBD di Puskesmas.
 - c. Tingginya Angka Bebas Jentik (ABJ).
 - d. Jumlah kader Jumantik yang terdaftar.
- 9. Menurut cuplikan bab, tantangan terbesar dalam implementasi *source reduction* yang efektif adalah...
 - a. Keterbatasan dana untuk membeli larvasida.
 - a. Resistensi vektor terhadap insektisida.
 - c. Mengubah perilaku masyarakat yang sudah mengakar.
 - d. Iklim tropis yang mendukung perkembangbiakan vektor sepanjang tahun.
- 10. Pengelolaan sanitasi dan sistem drainase yang buruk secara spesifik menciptakan habitat ideal bagi vektor penyakit filariasis, yaitu nyamuk dari genus...
 - a. *Aedes*
 - b. *Anopheles*
 - c. *Mansonia*
 - d. *Culex*

c. Soal Project / Studi Kasus

1. Anda adalah kepala Puskesmas baru di Kecamatan X, sebuah area perkotaan padat. Data menunjukkan angka kasus DBD tetap tinggi selama tiga tahun terakhir meskipun telah dilakukan *fogging* terjadwal setiap ada kasus. Laporan dari kader Jumantik menunjukkan Angka Bebas Jentik (ABJ) rata-rata hanya 65%. Warga cenderung pasif dan menganggap *fogging* adalah satu-satunya solusi. Rumuskan sebuah program revitalisasi PSN 3M Plus untuk 6 bulan ke depan. Instruksi: Jelaskan minimal tiga strategi kunci yang akan Anda terapkan untuk meningkatkan partisipasi masyarakat, memberdayakan kembali peran Jumantik, dan menggeser paradigma dari reaktif (*fogging*) ke proaktif (*source reduction*).

2. Anda ditugaskan sebagai konsultan kesehatan masyarakat di sebuah desa pesisir yang mengalami kesulitan air bersih. Sebagian besar warga menampung air hujan dalam drum dan tempayan besar untuk kebutuhan sehari-hari dan enggan mengurasnya setiap minggu karena takut kehabisan air. Akibatnya, tempat-tempat penampungan air ini menjadi sumber utama perkembangbiakan nyamuk *Aedes aegypti*. Instruksi: Rancanglah modifikasi program 3M Plus yang adaptif dan dapat diterima oleh masyarakat tersebut. Fokuskan pada inovasi di komponen "Menutup" dan "Plus" yang realistis untuk diterapkan dalam kondisi kelangkaan air, serta strategi komunikasi untuk meyakinkan warga tanpa menimbulkan resistensi.

BAB 11

PENGENDALIAN NON-KIMIA

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah menyelesaikan pembahasan pada bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan prinsip kerja, keunggulan, dan keterbatasan dari berbagai metode pengendalian vektor non-kimia dalam konteks kesehatan masyarakat.
2. Memilih agen pengendali biologis (misalnya, ikan pemakan jentik atau *Bacillus thuringiensis israelensis*) yang paling sesuai untuk diterapkan pada tipe habitat larva vektor tertentu di Indonesia.
3. Menerapkan metode pengendalian fisik, seperti pemasangan *screening* pada ventilasi rumah atau penggunaan *ovitrap*, untuk mengurangi kontak antara manusia dan vektor di lingkungan pemukiman padat.
4. Mendemonstrasikan penggunaan alat pelindung diri, termasuk cara pemakaian kelambu berinsektisida dan aplikasi *repellent* yang benar, untuk mencegah gigitan nyamuk pada kelompok rentan.
5. Menentukan desain evaluasi sederhana untuk mengukur efektivitas dan keberterimaan sosial dari suatu program pengendalian non-kimia di tingkat komunitas.

B. Pengantar

Ketergantungan berlebih pada intervensi kimiawi, khususnya insektisida, telah lama menjadi tulang punggung program pengendalian vektor di berbagai belahan dunia, termasuk Indonesia. Praktik seperti pengasapan (*fogging*) untuk menekan populasi nyamuk *Aedes aegypti* saat terjadi wabah Demam Berdarah Dengue (DBD) seringkali dianggap sebagai solusi cepat dan terlihat. Namun, di balik efektivitas sesaat tersebut, tersimpan permasalahan fundamental yang semakin mendesak untuk diatasi. Konsep resistensi insektisida, di mana populasi vektor secara genetik menjadi kebal terhadap bahan kimia yang biasa digunakan, bukan lagi sekadar hipotesis teoretis. Studi di kota-kota besar seperti Jakarta dan Surabaya telah secara konsisten menunjukkan tingkat resistensi *Ae. aegypti* yang tinggi terhadap insektisida golongan piretroid, bahan aktif yang umum digunakan dalam *fogging* dan insektisida rumah tangga. Implikasinya sangat jelas: efektivitas intervensi kimia menurun drastis, biaya operasional meningkat, dan kita terjebak dalam siklus penggunaan dosis yang lebih tinggi atau beralih ke bahan kimia baru yang berpotensi lebih toksik. Lebih jauh lagi, dampak ekologis dari penyemprotan insektisida berskala luas tidak dapat

diabaikan. Kematian organisme non-sasaran, seperti predator alami nyamuk (misalnya laba-laba dan capung) serta polinator penting, mengganggu keseimbangan ekosistem lokal dan secara ironis dapat melemahkan mekanisme pengendalian alami yang sudah ada.

Menghadapi tantangan ini, paradigma pengendalian vektor harus bergeser dari pendekatan reaktif-kimiawi menuju strategi yang lebih holistik, berkelanjutan, dan berbasis ekologi. Inilah ranah pengendalian non-kimia, yang tidak lagi dipandang sebagai alternatif sekunder, melainkan sebagai komponen inti dalam kerangka *Integrated Vector Management* (IVM). Pendekatan non-kimia memanipulasi faktor lingkungan, biologi, dan perilaku untuk menekan populasi vektor atau mengurangi kontak antara vektor dan manusia. Konsep ini sejatinya telah lama berakar dalam praktik kesehatan masyarakat di Indonesia. Program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) dengan slogan 3M Plus (Menguras, Menutup, dan Mendaur ulang, plus berbagai metode pencegahan lain) adalah contoh klasik pengendalian lingkungan non-kimia yang berbasis pada perubahan perilaku dan partisipasi masyarakat. Keberhasilan program ini, ketika diimplementasikan dengan baik, menunjukkan bahwa pengendalian vektor yang efektif tidak melulu soal membunuh serangga dengan racun, melainkan tentang memodifikasi habitat dan perilaku manusia secara cerdas. Implikasinya bagi Anda sebagai calon praktisi kesehatan masyarakat adalah sebuah pemahaman bahwa solusi paling ampuh seringkali bersifat preventif, partisipatif, dan terintegrasi dengan konteks sosial budaya setempat.

Bab ini akan mengupas secara mendalam berbagai strategi pengendalian non-kimia yang menjadi instrumen penting dalam perangkat kerja Anda. Pembahasan akan dimulai dengan menelusuri metode pengendalian biologis, yang memanfaatkan musuh alami vektor, seperti penggunaan ikan pemakan jentik di penampungan air atau aplikasi bakteri *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) yang secara spesifik membunuh larva nyamuk tanpa membahayakan organisme lain. Selanjutnya, kita akan mendalami berbagai teknik pengendalian fisik yang berfungsi sebagai barikade, mulai dari pemasangan kasa (screening) pada ventilasi dan jendela hingga penggunaan perangkap (*trap*) untuk memonitor dan mengurangi populasi vektor dewasa. Bab ini juga akan membahas strategi perlindungan individu yang krusial untuk mencegah gigitan secara langsung, seperti penggunaan kelambu dan *repellent*. Terakhir, karena setiap intervensi memerlukan pembuktian, kita akan mempelajari cara mengevaluasi efektivitas dan, yang tidak kalah penting, keberterimaan program pengendalian non-kimia di tengah masyarakat. Dengan demikian, bab ini membekali Anda dengan perangkat strategis untuk merancang program pengendalian vektor yang lebih berkelanjutan, aman, dan partisipatif.

C. Pengendalian Biologis (ikan, Bti)

Pengendalian biologis (*biological control*) merupakan strategi pemanfaatan organisme hidup atau produk alaminya untuk menekan atau memusnahkan populasi organisme lain yang dianggap sebagai hama, dalam hal ini vektor penyakit. Prinsip dasarnya adalah memperkenalkan "musuh alami" ke dalam ekosistem vektor, sehingga menciptakan mekanisme penekanan populasi yang berkelanjutan dan seringkali lebih ramah lingkungan dibandingkan intervensi kimiawi. Sebagaimana telah disinggung pada Bab 10 mengenai *source reduction*, pengendalian biologis seringkali menjadi pelengkap yang efektif, terutama untuk tempat penampungan air (TPA) yang tidak mungkin atau tidak praktis untuk dikuras secara rutin. Dua agen pengendali biologis yang paling umum diterapkan dalam program kesehatan masyarakat di Indonesia adalah ikan pemakan jentik dan bakteri *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti).

Ikan pemakan jentik (larvivora) adalah predator alami larva dan pupa nyamuk. Metode ini sangat efektif untuk TPA berukuran besar dan permanen seperti kolam, bak mandi semen, dan drum air. Keunggulannya terletak pada sifatnya yang berkelanjutan; sekali populasi ikan terbentuk, mereka akan terus memangsa jentik tanpa memerlukan intervensi berulang. Di Indonesia, beberapa spesies ikan telah terbukti efektif, antara lain ikan kepala timah (*Aplocheilichthys panchax*), ikan guppy (*Poecilia reticulata*), dan ikan cupang (*Betta sp.*). Penerapan metode ini membutuhkan pertimbangan ekologis: pemilihan spesies ikan harus disesuaikan dengan kondisi setempat untuk menghindari dampak negatif terhadap fauna air asli (Siswanto, 2021). Sebagai contoh, program di beberapa daerah mendorong masyarakat untuk memelihara ikan cupang hias di dalam bak mandi, sebuah pendekatan yang cerdas karena menggabungkan fungsi pengendalian vektor dengan hobi masyarakat. Namun, tantangannya adalah memastikan kelangsungan hidup ikan, terutama pada TPA yang sering dikuras atau terkontaminasi sabun. Kualitas air menjadi faktor kunci yang menentukan keberhasilan metode ini (Nurhidayat, 2021).

Sebagai alternatif yang lebih fleksibel, *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) menawarkan solusi berbasis mikrobiologi. Bti adalah bakteri tanah yang saat di-sporulasi menghasilkan protein kristal (delta-endotoksin) yang sangat toksik dan spesifik bagi larva nyamuk (ordo Diptera) dan lalat hitam. Ketika larva memakan spora Bti, toksin tersebut akan aktif di dalam usus tengah larva yang bersifat basa, merusak dinding usus dan menyebabkan kematian dalam waktu 24-48 jam. Keunggulan utama Bti adalah tingkat spesifisitasnya yang tinggi, membuatnya aman bagi manusia, hewan peliharaan, ikan, dan organisme non-sasaran lainnya. Ini menjadikannya pilihan ideal untuk TPA yang juga berfungsi sebagai sumber air minum atau habitat organisme lain. Di pasaran, Bti tersedia dalam berbagai formulasi, seperti briket, granul, atau cairan, yang memudahkan

aplikasinya di berbagai jenis habitat larva. Walaupun tidak sepermanen ikan, formulasi lepas-lambat (*slow-release*) dapat memberikan perlindungan hingga beberapa minggu. Pendekatan ini sejalan dengan pengembangan biolarvasida dari bahan-bahan alami lainnya yang terus diteliti efektivitasnya (Ahyanti, 2022; Putri, 2022).

Pemilihan antara ikan dan Bti harus didasarkan pada analisis situasi yang cermat. Berikut adalah perbandingan kedua metode untuk membantu pengambilan keputusan di lapangan.

Tabel 11.1 Perbandingan Karakteristik Ikan Pemakan Jentik dan *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) sebagai Agen Pengendali Biologis

Karakteristik	Ikan Pemakan Jentik	<i>Bacillus thuringiensis israelensis</i> (Bti)
Mekanisme Kerja	Predasi langsung (memangsa larva/pupa)	Toksin (merusak sistem pencernaan larva)
Target Spesies	Larva dan pupa nyamuk	Hanya larva nyamuk dan lalat hitam
Sifat Keberlanjutan	Tinggi (dapat bereproduksi sendiri)	Rendah-Menengah (perlu aplikasi ulang)
Habitat Ideal	TPA permanen, volume air cukup, tidak terkontaminasi deterjen (kolam, bak semen)	Semua jenis TPA, termasuk yang temporer, kecil, atau sulit dijangkau (pot bunga, talang air)
Keamanan	Aman, namun spesies invasif bisa mengganggu ekosistem lokal	Sangat aman bagi manusia, vertebrata, dan sebagian besar invertebrata non-target
Biaya Awal	Rendah hingga sedang (biaya pengadaan bibit ikan)	Sedang (biaya pembelian produk Bti)
Biaya Operasional	Sangat rendah (hampir tidak ada)	Sedang (biaya aplikasi berulang)

	setelah populasi mapan)	
Contoh Aplikasi	Memasukkan ikan guppy ke dalam bak mandi di wilayah endemis DBD di Jakarta.	Penaburan Bti granul oleh kader Jumantik ke TPA di pemukiman padat.

Tabel di atas menunjukkan bahwa tidak ada satu solusi yang cocok untuk semua kondisi. Ikan lebih cocok untuk pendekatan jangka panjang pada TPA yang stabil, sedangkan Bti menawarkan fleksibilitas dan keamanan untuk aplikasi yang lebih luas dan bervariasi.

D. Predator Alami Vektor

Melanjutkan konsep pemanfaatan musuh alami dari sub-bab sebelumnya, pembahasan mengenai predator alami memiliki cakupan yang lebih luas. Jika pengendalian biologis dengan ikan atau Bti merupakan intervensi yang sengaja diperkenalkan (*augmentative* atau *inundative biological control*), maka pemanfaatan predator alami lebih mengarah pada strategi konservasi (*conservation biological control*). Strategi ini berfokus pada perlindungan dan peningkatan populasi musuh alami yang sudah ada di ekosistem untuk memaksimalkan perannya dalam menekan populasi vektor secara alami dan berkelanjutan. Pendekatan ini mengakui bahwa di alam liar, populasi vektor seringkali terkendali oleh jaring-jaring makanan yang kompleks, dan gangguan terhadap jaring-jaring ini, misalnya melalui penggunaan pestisida spektrum luas, justru dapat memicu ledakan populasi vektor.

Predator alami vektor dapat ditemukan di berbagai tingkatan trofik dan menargetkan berbagai stadium kehidupan vektor. Untuk vektor nyamuk, pada fase akuatik (telur, larva, pupa), predatornya meliputi berbagai jenis serangga air seperti larva capung (nimfa Odonata), kumbang air (*water beetle*), dan beberapa jenis kutu air predator seperti Copepoda (misalnya, genus *Mesocyclops*). Copepoda, misalnya, telah digunakan dalam program pengendalian *Aedes aegypti* di Vietnam dengan keberhasilan signifikan, di mana krustasea mikroskopis ini secara aktif memangsa larva nyamuk stadium awal. Di fase terestrial atau udara, nyamuk dewasa menjadi mangsa bagi laba-laba, cecak, tokek, capung dewasa, kelelawar, dan beberapa jenis burung. Di Indonesia, peran cecak rumah (*Cosymbotus platyurus*) sebagai predator nyamuk di dalam rumah adalah contoh nyata pengendalian alami yang seringkali tidak kita sadari. Satu ekor cecak dapat memangsa puluhan hingga ratusan nyamuk setiap malamnya.

CONTOH

Di area persawahan subak di Bali, ekosistem yang seimbang menjadi kunci pengendalian alami. Capung, yang larvanya (disebut *sret-sret* oleh petani lokal) hidup di air dan memangsa jentik nyamuk *Anopheles* (vektor malaria), dan dewasanya terbang memangsa nyamuk dewasa, merupakan komponen vital. Penggunaan pestisida kimia yang berlebihan untuk hama padi dapat secara tidak langsung membunuh larva capung ini (Situmorang, 2021). Akibatnya, populasi nyamuk dapat meningkat, menunjukkan bagaimana praktik pertanian dapat berdampak langsung pada kesehatan masyarakat di sekitarnya. Ini menggarisbawahi pentingnya pendekatan terpadu yang mempertimbangkan dampak ekologis, serupa dengan upaya pengendalian hama tanpa pestisida kimia pada budidaya sayuran (I., 2022).

Tantangan utama dalam memanfaatkan predator alami adalah sifatnya yang sulit diukur dan dikendalikan secara presisi. Efektivitasnya sangat bergantung pada kondisi lingkungan yang kompleks, seperti ketersediaan sumber makanan alternatif, keberadaan tempat berlindung bagi predator, dan kondisi iklim. Oleh karena itu, peran praktisi kesehatan masyarakat bukanlah untuk "memelihara" predator ini secara artifisial dalam skala besar, melainkan untuk mengadvokasi kebijakan dan praktik yang mendukung keberadaan mereka. Ini bisa berupa:

1. **Mengurangi Penggunaan Insektisida Spektrum Luas:** Mendorong penggunaan insektisida yang lebih spesifik atau metode pengendalian non-kimia untuk meminimalisir kematian organisme non-sasaran, termasuk predator.
2. **Edukasi Masyarakat:** Meningkatkan kesadaran masyarakat tentang peran positif organisme seperti laba-laba, cecak, dan capung dalam mengendalikan nyamuk, sehingga mereka tidak membasminya.
3. **Desain Lanskap yang Mendukung Keanekaragaman Hayati:** Dalam skala yang lebih besar, perencanaan tata ruang yang menyertakan area hijau, kolam alami, dan vegetasi yang beragam dapat menyediakan habitat bagi populasi predator alami.

Meskipun tidak memberikan hasil secepat intervensi lain, strategi konservasi predator alami merupakan investasi jangka panjang untuk menciptakan lingkungan yang secara inheren lebih tahan terhadap ledakan populasi vektor, selaras dengan prinsip *Integrated Vector Management* (IVM) yang akan dibahas pada Bab 14.

E. Pengendalian Fisik (trap dan screening)

Pengendalian fisik merujuk pada metode yang menggunakan barikade atau alat mekanis untuk mencegah kontak antara vektor dan manusia, atau untuk menangkap dan membunuh vektor tanpa menggunakan bahan kimia beracun.

Berbeda dengan pengendalian biologis yang memanipulasi ekosistem, pengendalian fisik secara langsung memodifikasi lingkungan buatan manusia (rumah, gedung) atau menjebak vektor dari lingkungan. Metode ini memiliki keunggulan karena umumnya aman, tahan lama, dan tidak menimbulkan masalah resistensi. Dua pilar utama dalam pengendalian fisik adalah *screening* (pemasangan kawat kasa) dan *trapping* (penggunaan perangkap).

Screening adalah salah satu metode perlindungan paling fundamental dan efektif. Pemasangan kawat kasa pada jendela, pintu, dan lubang ventilasi secara fisik menghalangi masuknya vektor terbang seperti nyamuk dan lalat ke dalam rumah. Di Indonesia, ventilasi rumah seringkali berupa lubang angin dengan ukiran kayu atau roster, yang menjadi jalur masuk utama bagi nyamuk *Aedes aegypti* (aktif di siang hari) dan *Culex quinquefasciatus* (aktif di malam hari). Mengaplikasikan kasa nyamuk pada lubang-lubang ini adalah intervensi yang relatif murah namun berdampak besar. Efektivitasnya bergantung pada beberapa faktor: ukuran lubang jaring kasa harus cukup kecil untuk menahan nyamuk (biasanya 1,2 mm x 1,2 mm), pemasangan harus rapat tanpa celah, dan material harus tahan lama terhadap cuaca tropis. Kelemahan utamanya adalah potensi pengurangan aliran udara dan pencahayaan, serta perlunya pembersihan rutin karena debu yang terakumulasi dapat menyumbat kasa. Namun, dengan desain rumah yang tepat, masalah ini dapat diminimalkan.

Perangkap (*trap*) berfungsi untuk menangkap vektor, baik untuk tujuan surveilans (seperti yang dibahas pada Bab 6) maupun pengendalian. Untuk pengendalian, perangkap harus mampu menangkap vektor dalam jumlah yang cukup signifikan untuk menekan populasi lokal. Berbagai jenis perangkap telah dikembangkan, masing-masing dengan mekanisme atraktan yang berbeda.

1. **Perangkap Cahaya (*Light Trap*):** Menggunakan sinar ultraviolet (UV) untuk menarik serangga terbang nokturnal seperti ngengat dan beberapa jenis nyamuk, yang kemudian terperangkap pada kertas lengket atau tersengat oleh jaring listrik.
2. **Perangkap Umpan (*Bait Trap*):** Menggunakan umpan makanan atau feromon untuk menarik vektor. Contoh klasik adalah perangkap lalat yang menggunakan umpan berbau amis atau manis untuk menarik lalat rumah. Sebuah studi menunjukkan bahwa variasi umpan sangat mempengaruhi efektivitas perangkap dalam mengendalikan kepadatan lalat (Savitriani, 2021).
3. **Ovitrap (*Perangkap Telur*):** Secara tradisional digunakan untuk surveilans *Aedes sp.*, namun dapat dimodifikasi menjadi alat pengendalian. *Lethal Ovitrap* (LOT) adalah ovitrap yang diberi larvasida atau permukaan kasar tempat telur menetas namun larva tidak dapat bertahan hidup. *Sticky*

Ovitrap dilapisi perekat di bagian dalam untuk menjebak nyamuk betina yang hendak bertelur.

Penggunaan perangkat sebagai alat pengendalian massal (*mass trapping*) merupakan strategi yang menjanjikan. Berikut adalah ilustrasi skematis cara kerja *Lethal Ovitrap* yang dapat diterapkan di tingkat komunitas.



Gambar 11.1 Skema Cara Kerja *Lethal Ovitrap* (LOT) untuk Pengendalian Nyamuk *Aedes*

Gambar di atas mengilustrasikan prinsip kerja LOT. Nyamuk betina yang mencari tempat bertelur akan tertarik pada wadah berisi air. Ia akan bertelur di sana, namun larva yang menetas akan mati karena kontak dengan larvasida, atau nyamuk dewasa itu sendiri bisa mati jika perangkat dimodifikasi untuk membunuhnya. Program penempatan puluhan LOT secara sistematis di sebuah RW atau kelurahan di kota seperti Semarang dapat secara signifikan mengurangi populasi nyamuk *Aedes* lokal, yang pada gilirannya dapat menurunkan risiko penularan DBD. Keberhasilan program ini sangat bergantung pada partisipasi masyarakat untuk menjaga dan memelihara perangkat tersebut, menghubungkan aspek pengendalian fisik dengan pemberdayaan masyarakat (Rahmayani, 2021).

F. Perlindungan Individu (repellent, kelambu)

Ketika paparan terhadap vektor tidak dapat dihindari sepenuhnya melalui pengendalian lingkungan, biologis, atau fisik, maka lini pertahanan terakhir adalah perlindungan individu. Metode ini berfokus pada pencegahan kontak langsung antara vektor dan tubuh manusia, terutama mencegah gigitan nyamuk atau artropoda lainnya. Strategi ini sangat krusial bagi individu yang tinggal atau bepergian ke daerah endemis, kelompok rentan (bayi, ibu hamil), serta petugas lapangan yang berisiko tinggi terpapar vektor. Dua metode perlindungan

individu yang paling utama dan telah terbukti efektif adalah penggunaan *repellent* (penolak serangga) dan kelambu.

Repellent adalah zat kimia yang diaplikasikan pada kulit atau pakaian untuk mencegah serangga, terutama nyamuk, mendarat dan menggigit. *Repellent* tidak membunuh serangga, melainkan bekerja dengan cara mengganggu reseptor penciuman serangga, membuatnya "buta" terhadap sinyal atraktan yang dikeluarkan tubuh manusia seperti karbon dioksida dan asam laktat. Bahan aktif yang paling umum dan efektif adalah DEET (*N,N-diethyl-meta-toluamide*), Picaridin (KBR 3023), dan IR3535. Konsentrasi bahan aktif menentukan durasi perlindungan, bukan tingkat perlindungan. Misalnya, produk dengan DEET 20-30% memberikan perlindungan selama beberapa jam dan dianggap aman untuk penggunaan rutin. Selain bahan sintetis, terdapat juga *repellent* berbasis minyak esensial dari tumbuhan, seperti minyak sereh wangi (*citronella*), lavender, atau eukaliptus (PMD). Meskipun populer karena dianggap "alami", efektivitas dan durasi perlindungan *repellent* nabati umumnya lebih singkat dibandingkan sintetis dan memerlukan aplikasi yang lebih sering. Di Indonesia, produk *repellent* dalam bentuk losion, semprot, atau gel sangat mudah ditemukan dan menjadi bagian penting dari perlindungan personal, terutama saat beraktivitas di luar rumah pada sore atau malam hari.

PERHATIAN

Penggunaan *repellent* harus tepat. Aplikasikan hanya pada kulit yang terbuka dan pakaian, hindari area mata, mulut, dan luka. Untuk anak-anak, orang dewasa harus mengaplikasikannya ke tangan mereka terlebih dahulu lalu mengusapkannya ke kulit anak. Jangan menyemprotkan langsung ke wajah. Penggunaan yang tidak tepat atau berlebihan dapat menimbulkan iritasi kulit, meskipun kasus toksisitas sistemik dari *repellent* yang disetujui sangat jarang terjadi.

Kelambu (*bed net*) adalah barikade fisik yang digunakan saat tidur untuk melindungi diri dari gigitan nyamuk nokturnal, seperti *Anopheles* (vektor malaria) dan *Culex* (vektor filariasis). Efektivitas kelambu konvensional bergantung sepenuhnya pada keutuhannya; lubang sekecil apa pun dapat menjadi jalan masuk nyamuk. Untuk mengatasi kelemahan ini, dikembangkanlah Kelambu Berinsektisida (*Insecticide-Treated Nets* atau ITN). Kelambu ini dicelupkan ke dalam larutan insektisida piretroid yang relatif aman bagi manusia tetapi mematikan bagi serangga. Inovasi lebih lanjut adalah *Long-Lasting Insecticidal Nets* (LLINs), di mana insektisida diikatkan pada serat kelambu dan dilepaskan secara perlahan, sehingga efektivitasnya dapat bertahan selama 3-5 tahun atau sekitar 20 kali pencucian. LLINs tidak hanya

memberikan perlindungan fisik (penghalang) tetapi juga perlindungan kimiawi: membunuh nyamuk yang mencoba hinggap (efek letal) dan mengusir nyamuk lain dari sekitar kelambu (efek eksito-repelensi). Program distribusi massal LLINs oleh Kementerian Kesehatan di daerah endemis malaria tinggi seperti Papua dan Nusa Tenggara Timur merupakan tulang punggung strategi eliminasi malaria di Indonesia, sejalan dengan kerangka *Integrated Vector Management* (Fitriani, 2023). Keberhasilan program ini sangat bergantung pada perilaku pengguna, yaitu konsistensi penggunaan kelambu setiap malam dan cara perawatan yang benar untuk menjaga durabilitasnya.

G. Evaluasi Efektivitas dan Keberterimaan

Setiap intervensi pengendalian vektor, baik kimiawi maupun non-kimia, tidak akan lengkap tanpa adanya komponen evaluasi yang sistematis. Evaluasi berfungsi sebagai mekanisme umpan balik untuk mengukur sejauh mana tujuan program tercapai, mengidentifikasi tantangan dalam implementasi, dan memberikan dasar untuk perbaikan di masa mendatang. Dalam konteks pengendalian non-kimia, evaluasi menjadi lebih kompleks karena seringkali melibatkan perubahan perilaku dan partisipasi masyarakat. Oleh karena itu, evaluasi harus mencakup dua dimensi utama: efektivitas (*effectiveness*) dan keberterimaan (*acceptability*).

Efektivitas mengacu pada dampak terukur dari intervensi terhadap populasi vektor dan/atau transmisi penyakit. Pengukuran efektivitas harus menggunakan indikator yang objektif dan kuantitatif. Indikator ini dapat dibagi menjadi dua kategori:

1. **Indikator Entomologis:** Mengukur dampak langsung pada vektor. Sebagaimana dibahas pada Bab 7, indikator seperti Angka Bebas Jentik (ABJ), *House Index* (HI), *Container Index* (CI), dan kepadatan nyamuk dewasa (misalnya, jumlah nyamuk per tangkapan perangkap) digunakan untuk mengevaluasi program seperti PSN 3M Plus, pengendalian biologis, atau pengendalian fisik. Penurunan signifikan pada indeks-indeks ini setelah intervensi menunjukkan efektivitas program.
2. **Indikator Epidemiologis:** Mengukur dampak pada kesehatan manusia. Indikator ini adalah tujuan akhir dari semua program pengendalian vektor, meliputi angka insiden (kasus baru), prevalensi, dan mortalitas penyakit tular vektor terkait (misalnya, DBD, malaria). Hubungan antara intervensi dan penurunan kasus penyakit seringkali sulit dibuktikan secara langsung karena banyaknya faktor perancu, namun analisis data tren jangka panjang dapat memberikan bukti yang kuat.

Keberterimaan, atau akseptabilitas sosial, mengukur sejauh mana masyarakat atau target populasi mau menerima, mengadopsi, dan mempertahankan intervensi yang ditawarkan. Intervensi yang secara teknis sangat efektif bisa

gagal total jika tidak diterima oleh masyarakat. Misalnya, program pembagian ikan pemakan jentik tidak akan berhasil jika warga menolaknya karena menganggap ikan mengotori air atau sulit dirawat. Evaluasi keberterimaan bersifat kualitatif dan kuantitatif, serta dapat dilakukan melalui:

1. **Survei Pengetahuan, Sikap, dan Praktik (KAP):** Mengukur perubahan pemahaman dan perilaku masyarakat sebelum dan sesudah program.
2. **Wawancara Mendalam (*In-depth Interview*):** Menggali persepsi, motivasi, dan hambatan yang dirasakan individu terhadap suatu intervensi.
3. **Diskusi Kelompok Terarah (*Focus Group Discussion - FGD*):** Memfasilitasi diskusi dalam kelompok kecil untuk memahami norma sosial dan dinamika komunitas yang mempengaruhi penerimaan program.
4. **Observasi Partisipatif:** Mengamati secara langsung bagaimana masyarakat menggunakan (atau tidak menggunakan) alat seperti kelambu, perangkap, atau mempraktikkan PSN.

Kerangka kerja *Plan-Do-Check-Action* (PDCA) sangat relevan untuk diterapkan dalam siklus program pengendalian vektor (Merjani, 2021). Tahap *Check* (Periksa) dalam siklus ini adalah fase evaluasi, di mana data efektivitas dan keberterimaan yang dikumpulkan dianalisis. Hasil analisis ini kemudian menjadi dasar untuk tahap *Action* (Tindak Lanjut), yaitu melakukan penyesuaian, perbaikan, atau bahkan penghentian program. Sebagai contoh, evaluasi program IVM untuk eliminasi malaria di Purworejo menunjukkan bahwa meskipun berbagai metode diterapkan, kasus masih muncul kembali, yang mengarah pada tindakan penyesuaian strategi (Fitriani, 2023). Dengan demikian, evaluasi bukanlah akhir dari sebuah program, melainkan sebuah proses berkelanjutan yang memastikan bahwa intervensi kesehatan masyarakat tetap relevan, efisien, dan berdampak positif. Analisis efektivitas pengelolaan menjadi kunci untuk memastikan sumber daya yang terbatas digunakan secara optimal (Werita, 2021).

H. Rangkuman

Pengendalian vektor non-kimia mengedepankan strategi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan dengan memutus siklus hidup vektor atau menekan populasinya tanpa bergantung pada pestisida sintetik. Fondasi dari pendekatan ini adalah modifikasi lingkungan dan pengendalian fisik, seperti program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) dengan 3M Plus (*source reduction*), yang bertujuan menghilangkan tempat perindukan vektor. Di atas fondasi ini, pengendalian biologis menawarkan dua strategi utama. Pertama, intervensi augmentatif atau inudatif yang secara sengaja memperkenalkan musuh alami. Contoh utamanya adalah ikan pemakan jentik (larvivora) dan bakteri *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti). Ikan, seperti guppy atau cupang, ideal untuk tempat penampungan air (TPA) permanen karena sifatnya yang berkelanjutan

dan biaya operasional rendah, namun efektivitasnya bergantung pada kualitas air dan kesinambungan TPA. Sebaliknya, Bti, dengan toksin spesifiknya yang aman bagi organisme non-sasaran, menawarkan fleksibilitas untuk diaplikasikan di berbagai jenis TPA, termasuk yang kecil atau temporer, meskipun memerlukan aplikasi berulang. Kedua, strategi pengendalian biologis konservasi, yang berfokus pada perlindungan dan peningkatan populasi predator alami yang sudah ada di ekosistem, seperti larva capung, Copepoda, cecak, dan laba-laba. Pendekatan ini, seperti yang diilustrasikan pada ekosistem subak di Bali, menggarisbawahi bagaimana menjaga keseimbangan ekologis—misalnya dengan menghindari pestisida spektrum luas—secara tidak langsung turut mengendalikan populasi vektor. Pemilihan dan kombinasi metode non-kimia ini harus didasarkan pada analisis situasional yang cermat, mengintegrasikan pertimbangan ekologis, teknis, dan sosial untuk mencapai pengendalian vektor yang efektif dan berkelanjutan.

I. Latihan Mahasiswa

a. Essay

1. Bandingkan dan kontraskan efektivitas, keberlanjutan, dan implikasi biaya antara penggunaan ikan pemakan jentik dan *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) dalam program pengendalian larva *Aedes aegypti*. Evaluasi skenario mana yang membuat satu metode lebih unggul dari yang lain, berdasarkan karakteristik habitat dan kapasitas program di lapangan.
2. Argumentasikan mengapa strategi pengendalian biologis konservasi, yang berfokus pada perlindungan predator alami seperti capung dan cecak, harus menjadi komponen fundamental dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) bidang kesehatan, terutama di wilayah dengan keanekaragaman hayati tinggi yang terancam oleh pembangunan dan penggunaan pestisida.
3. Seorang kepala puskesmas di wilayah perkotaan padat dengan angka kasus DBD yang tinggi berencana meluncurkan program pengendalian vektor non-kimia. Rumuskan sebuah kerangka kerja strategis yang mengintegrasikan pengendalian biologis (ikan dan Bti) dan konservasi predator alami (misalnya, melalui edukasi tentang peran cecak) untuk diterapkan di tingkat rumah tangga dan komunitas.
4. Analisis potensi tantangan ekologis dan sosial-budaya yang mungkin muncul dari program introduksi ikan kepala timah (*Aplocheilichthys panchax*) secara massal ke dalam ekosistem perairan semi-alami (misalnya, parit dan kolam desa) untuk mengendalikan larva *Anopheles*. Usulkan langkah-langkah mitigasi untuk meminimalkan dampak negatif tersebut.
5. Telaah mekanisme kerja spesifik dari delta-endotoksin yang dihasilkan oleh Bti. Evaluasi mengapa tingkat spesifisitas yang tinggi ini menjadi

keunggulan utama dari perspektif kesehatan masyarakat dan ekologi, namun sekaligus bisa menjadi keterbatasan jika dibandingkan dengan predator generalis seperti ikan dalam konteks pengendalian berbagai spesies jentik secara simultan.

b. Pilihan Berganda

1. Prinsip dasar dari pengendalian biologis dalam konteks kesehatan masyarakat adalah...
 - a. Mengubah lingkungan agar tidak cocok untuk berkembangbiakan vektor.
 - b. Menggunakan senyawa kimia dari tumbuhan untuk membunuh vektor.
 - c. Memanfaatkan organisme hidup atau produknya untuk menekan populasi vektor.
 - d. Memasang perangkap fisik untuk menangkap vektor dewasa.
2. Bagaimana cara kerja *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) dalam membunuh larva nyamuk?
 - a. Bakteri menginfeksi dan menyebabkan penyakit sistemik pada larva.
 - b. Bakteri menghasilkan toksin yang merusak dinding usus larva saat tertelan.
 - c. Bakteri bersaing dengan larva untuk mendapatkan sumber makanan di air.
 - d. Bakteri menempel pada tubuh larva dan menghambat proses pergantian kulit.
3. Target utama dari aplikasi Bti yang paling efektif adalah...
 - a. Telur nyamuk
 - b. Larva nyamuk
 - c. Pupa nyamuk
 - d. Nyamuk dewasa
4. Ikan pemakan jentik paling efektif dan berkelanjutan jika diaplikasikan pada habitat seperti...
 - a. Pot bunga dan tatakannya yang terisi air hujan.
 - b. Talang air yang tersumbat dan tergenang.
 - c. Bak mandi semen permanen dan kolam ikan di halaman.
 - d. Ban bekas yang menampung air setelah hujan.
5. Keunggulan utama penggunaan ikan pemakan jentik dari segi keberlanjutan adalah...
 - a. Kemampuannya untuk bertahan hidup tanpa makanan dalam waktu lama.
 - b. Kemampuannya untuk bereproduksi dan membentuk populasi yang mapan.

- c. Harganya yang sangat murah dan mudah didapat di pasar.
 - d. Ketahanannya terhadap kontaminasi deterjen dan sabun.
6. Salah satu keunggulan utama Bti yang membuatnya menjadi pilihan ideal untuk TPA yang juga sumber air minum adalah...
- a. Biaya aplikasinya yang sangat rendah.
 - b. Sifatnya yang permanen setelah satu kali aplikasi.
 - c. Tingkat spesifisitasnya yang tinggi sehingga aman bagi manusia dan vertebrata.
 - d. Kemampuannya membunuh semua stadium akuatik nyamuk, termasuk pupa.
7. Strategi melindungi dan meningkatkan populasi musuh alami yang sudah ada di ekosistem, seperti menjaga populasi capung di area persawahan, disebut...
- a. Pengendalian biologis augmentatif
 - b. Pengendalian biologis inudatif
 - c. Pengendalian biologis konservasi
 - d. Pengendalian kimiawi selektif
8. Berikut ini yang merupakan contoh predator alami untuk fase akuatik (larva/pupa) nyamuk adalah...
- a. Cecak rumah
 - b. Kelelawar
 - c. Laba-laba
 - d. Larva capung (nimfa Odonata)
9. Di dalam rumah, organisme yang berperan sebagai predator alami penting bagi nyamuk dewasa adalah...
- a. Ikan cupang
 - b. Copepoda
 - c. Cecak
 - d. Kumbang air
10. Berdasarkan Tabel 11.1, perbedaan mendasar antara ikan pemakan jentik dan Bti terkait biaya operasional adalah...
- a. Ikan memiliki biaya operasional sedang, sedangkan Bti sangat rendah.
 - b. Keduanya memiliki biaya operasional yang tinggi.
 - c. Ikan memiliki biaya operasional sangat rendah setelah mapan, sedangkan Bti memerlukan biaya berulang.
 - d. Bti tidak memiliki biaya operasional sama sekali.

c. Soal Project / Studi Kasus

1. Anda adalah seorang sanitarian yang ditugaskan di sebuah kelurahan padat penduduk dengan Angka Bebas Jentik (ABJ) hanya 60% dan

riwayat wabah DBD setiap tahun. Survei menunjukkan TPA utama adalah bak mandi semen (40%), drum penampungan air hujan (30%), dan ribuan wadah kecil seperti pot bunga, dispenser, dan ban bekas (30%). Anggaran terbatas dan masyarakat skeptis terhadap fogging. Susunlah sebuah proposal program pengendalian vektor non-kimia terpadu untuk kelurahan tersebut. Instruksi: Jelaskan pilihan metode (fisik, biologis) untuk setiap jenis TPA, strategi pelibatan kader Jumantik, dan materi edukasi kunci untuk mengubah perilaku masyarakat.

2. Sebuah perusahaan akan membangun resor ekowisata di tepi kawasan hutan bakau yang berbatasan dengan desa nelayan. Kawasan ini diketahui memiliki populasi nyamuk *Anopheles* dan *Aedes*. Perusahaan berkomitmen pada pariwisata berkelanjutan dan ingin menghindari penggunaan pestisida kimia spektrum luas. Sebagai konsultan kesehatan lingkungan, Anda diminta merancang strategi pengendalian vektor yang efektif namun ramah lingkungan untuk area resor dan sekitarnya. Instruksi: Rumuskan strategi yang mengutamakan pendekatan konservasi predator alami, modifikasi lingkungan yang minim dampak, dan penggunaan biolarvasida yang sangat spesifik. Jelaskan bagaimana Anda akan mengintegrasikan kearifan lokal dari desa nelayan dalam program tersebut.

BAB 12

PENGENDALIAN KIMIA

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah menyelesaikan pembahasan pada bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Memilih jenis insektisida (larvasida atau adultisida) yang paling tepat untuk skenario kasus pengendalian vektor demam berdarah dengue di tingkat kelurahan.
2. Menerapkan prosedur standar operasional untuk teknik aplikasi insektisida yang berbeda (misalnya, *Indoor Residual Spraying* dan *fogging*) dalam simulasi program pemberantasan malaria.
3. Menghitung dosis insektisida yang diperlukan untuk kegiatan *fogging* di suatu wilayah RW berdasarkan data luas area, konsentrasi formulasi, dan laju aplikasi yang direkomendasikan.
4. Mendemonstrasikan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) yang benar dan prosedur keselamatan kerja bagi petugas penyemprot sesuai dengan panduan Kementerian Kesehatan.
5. Menganalisis potensi risiko lingkungan dan kesehatan manusia dari aplikasi pestisida dalam program pengendalian vektor, serta mengusulkan strategi mitigasinya.

B. Pengantar

Gambaran petugas kesehatan dengan mesin *fogging* yang mengeluarkan asap tebal di lorong-lorong padat pemukiman telah menjadi pemandangan yang familier di banyak kota di Indonesia, terutama saat musim hujan tiba dan kasus Demam Berdarah Dengue (DBD) melonjak. Intervensi kimia ini, yang secara teknis disebut sebagai pengasapan, merupakan respons cepat yang sering kali dituntut oleh masyarakat karena dampaknya yang terlihat langsung. Konsepnya adalah pengendalian kimia sebagai metode *knockdown* cepat untuk memutus rantai penularan dengan membunuh nyamuk dewasa yang infeksi. Sebagai contoh, ketika Dinas Kesehatan Kota Surabaya menerima laporan peningkatan kasus DBD di satu kecamatan, tindakan *fogging* fokus sering kali menjadi pilihan intervensi pertama untuk meredam kepanikan publik dan menekan populasi vektor secara drastis dalam waktu singkat. Implikasinya, seorang praktisi kesehatan masyarakat akan selalu dihadapkan pada dilema: di satu sisi, ada tekanan untuk memberikan solusi instan yang kasatmata, namun di sisi lain, ada tanggung jawab profesional untuk mempertanyakan efektivitas jangka panjang, risiko resistensi insektisida, dan dampak ekologis dari tindakan tersebut. Bab ini

dirancang untuk membekali Anda dengan kompetensi teknis dan kerangka berpikir kritis untuk menavigasi dilema tersebut secara ilmiah dan bertanggung jawab.

Pengendalian kimia bukanlah sekadar aktivitas menyemprotkan insektisida. Ia adalah komponen strategis dalam kerangka Pengendalian Vektor Terpadu (PVT) yang penggunaannya harus didasarkan pada data, presisi, dan kehati-hatian. Konsep PVT menekankan bahwa intervensi kimia sebaiknya menjadi pilihan yang dipertimbangkan setelah metode lain (seperti pengendalian lingkungan dan biologis) dinilai tidak cukup, atau dalam situasi wabah yang membutuhkan respons segera. Sebagai ilustrasi, seorang kepala Puskesmas di daerah endemis malaria di Kabupaten Sumba Timur, Nusa Tenggara Timur, tidak bisa secara sembarangan memutuskan antara melakukan Penyemprotan Rumah Residu (IRS) atau membagikan Kelambu Berinsektisida Jangka Panjang (LLIN). Keputusan tersebut harus didasarkan pada analisis perilaku vektor setempat (apakah nyamuk *Anopheles* cenderung beristirahat di dalam atau di luar rumah setelah menggigit?), status resistensi vektor terhadap kelas insektisida tertentu, tingkat penerimaan masyarakat, serta kapabilitas logistik dan sumber daya manusia. Implikasi dari pemilihan strategi yang tidak tepat bukan hanya kegagalan program pengendalian dan pemborosan anggaran, tetapi juga dapat mempercepat evolusi resistensi insektisida, yang membuat intervensi di masa depan menjadi jauh lebih sulit dan mahal. Oleh karena itu, penguasaan materi dalam bab ini adalah sebuah keharusan, bukan pilihan, bagi calon ahli kesehatan masyarakat.

Untuk membangun kompetensi tersebut, bab ini akan memandu Anda secara sistematis melalui berbagai aspek fundamental pengendalian kimia. Pembahasan akan diawali dengan pemilahan jenis-jenis insektisida, yaitu larvasida yang menargetkan stadium larva dan adultisida untuk vektor dewasa, beserta pertimbangan pemilihannya. Selanjutnya, kita akan mendalami berbagai teknik aplikasi di lapangan, mulai dari *fogging*, *Indoor Residual Spraying* (IRS), *Ultra-Low Volume* (ULV), hingga prinsip kerja LLIN. Keterampilan praktis seperti cara menghitung formulasi dan dosis insektisida yang akurat akan dibahas secara mendetail untuk memastikan efikasi maksimal dengan penggunaan bahan kimia seminimal mungkin. Menyadari bahwa insektisida adalah bahan beracun, bab ini juga memberikan penekanan kuat pada prosedur keselamatan kerja dan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) bagi para operator di lapangan. Sebagai penutup, kita akan melakukan analisis kritis terhadap dampak lingkungan dan keamanan pangan yang mungkin timbul dari aplikasi pestisida, serta strategi mitigasi untuk mewujudkan program pengendalian vektor yang efektif, aman, dan berkelanjutan.

C. Jenis Insektisida (larvasida dan adultisida)

Dalam pengendalian vektor secara kimiawi, pemilihan insektisida yang tepat merupakan langkah strategis pertama yang menentukan keberhasilan program. Secara fundamental, insektisida untuk pengendalian vektor dapat diklasifikasikan berdasarkan stadium siklus hidup yang menjadi target, yaitu larvasida dan adultisida. Keduanya memiliki peran, cara kerja, dan implikasi strategis yang berbeda secara fundamental. Pemahaman mendalam mengenai perbedaan ini krusial bagi seorang praktisi kesehatan masyarakat untuk merancang intervensi yang efektif dan efisien.

Larvasida adalah insektisida yang spesifik menargetkan stadium larva dan pupa vektor, yang hidup di dalam air. Prinsip kerja larvasida adalah memutus siklus hidup vektor sebelum ia menjadi dewasa, terbang, dan mampu menularkan penyakit. Karena targetnya adalah habitat perindukan yang relatif statis dan terlokalisasi (seperti genangan air, bak mandi, atau drum), aplikasi larvasida bersifat proaktif dan preventif. Keunggulannya terletak pada kemampuannya menekan populasi vektor dari sumbernya. Di Indonesia, contoh paling umum adalah penggunaan temefos (dengan nama dagang Abate) dalam bentuk granula (sand granules) yang ditaburkan ke dalam tempat penampungan air untuk mengendalikan larva nyamuk *Aedes aegypti*. Program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) dengan juru pemantau jentik (jumantik) sering kali dibekali larvasida ini sebagai bagian dari intervensi 3M Plus. Selain bahan kimia sintetik, pengembangan bio-larvasida yang lebih ramah lingkungan juga semakin digiatkan, seperti pemanfaatan ekstrak tumbuhan (Ahyanti, 2022; Putri, 2022) atau bakteri *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) sebagaimana telah disinggung pada Bab 11.

Sebaliknya, adultisida adalah insektisida yang dirancang untuk membunuh vektor pada stadium dewasa. Aplikasi adultisida umumnya bersifat reaktif, yaitu sebagai respons cepat terhadap peningkatan kasus penyakit atau lonjakan populasi vektor dewasa yang terdeteksi melalui surveilans. Metode ini bertujuan untuk memberikan efek *knockdown* (lumpuh dan mati seketika) yang cepat untuk memutus rantai penularan dengan segera. Contoh paling ikonik di Indonesia adalah kegiatan pengasapan (*fogging*) yang menggunakan insektisida golongan piretroid atau organofosfat untuk memberantas nyamuk *Aedes aegypti* dewasa saat terjadi wabah Demam Berdarah Dengue (DBD). Meskipun dampaknya terlihat dramatis dan cepat, efektivitas adultisida seringkali bersifat sementara karena hanya membunuh nyamuk yang kontak langsung dengan semprotan pada saat itu, dan tidak mengatasi sumber masalah, yaitu jentik di tempat perindukan (Dhenge, 2021). Penggunaan adultisida yang berulang tanpa diimbangi pengendalian larva dapat memicu masalah resistensi insektisida, yang akan dibahas tuntas pada Bab 13.

Pemilihan antara larvasida dan adultisida—atau kombinasi keduanya—harus didasarkan pada analisis situasional yang cermat, mencakup epidemiologi penyakit, biologi vektor, kondisi lingkungan, dan sumber daya yang tersedia. Untuk pengendalian malaria di daerah endemis, kombinasi keduanya sering diterapkan: larvasiding pada habitat perindukan *Anopheles* yang diketahui, dan penyemprotan adultisida di dalam rumah (*Indoor Residual Spraying*) untuk membunuh nyamuk dewasa yang hinggap di dinding. Untuk DBD di perkotaan, strategi ideal adalah larvasiding rutin melalui gerakan PSN yang diperkuat, dengan adultisiding (fogging) hanya dilakukan secara terbatas sebagai intervensi darurat di area fokus penularan.

Tabel 12.1 Perbandingan Karakteristik Larvasida dan Adultisida dalam Pengendalian Vektor

Karakteristik	Larvasida	Adultisida
Target Stadium	Larva dan Pupa (akuatik)	Nyamuk Dewasa (terbang)
Sifat Intervensi	Preventif, Proaktif	Reaktif, Responsif (darurat)
Lokasi Aplikasi	Habitat perindukan spesifik (genangan air, bak mandi)	Area yang luas, ruang terbuka atau dalam ruangan
Dampak Populasi	Menurunkan populasi generasi berikutnya	Menurunkan populasi dewasa yang ada saat ini
Kecepatan Efek	Lambat (mencegah kemunculan dewasa)	Cepat (<i>knockdown</i>), efek segera terlihat
Contoh Aplikasi	Penaburan temefos, aplikasi Bti, pemberian ikan	<i>Fogging</i> , <i>Indoor Residual Spraying</i> (IRS), <i>Space Spraying</i>
Contoh Bahan Aktif	Temephos, Pyriproxyfen, <i>Bacillus thuringiensis</i>	Malathion, Sipermetrin, Deltametrin, Permetrin
Tantangan Utama	Sulit menemukan semua tempat perindukan	Hanya membunuh nyamuk yang terpapar, memicu resistensi

Tabel di atas menegaskan bahwa tidak ada satu jenis insektisida yang superior dalam segala situasi. Kunci keberhasilan program terletak pada kemampuan memilih dan mengombinasikan kedua pendekatan secara bijak dalam kerangka Pengendalian Vektor Terpadu (PVT).

D. Teknik Aplikasi (fogging, IRS, ULV, LLIN)

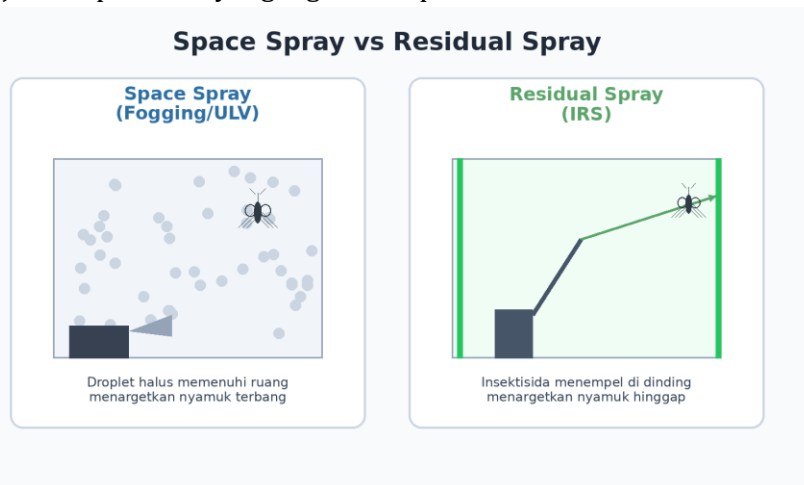
Setelah memilih jenis insektisida yang tepat, langkah selanjutnya adalah menentukan teknik aplikasi yang paling efektif untuk menghantarkan bahan aktif ke target vektor. Setiap teknik memiliki mekanisme, kelebihan, dan kekurangan yang berbeda, serta kesesuaian dengan perilaku vektor dan kondisi lingkungan tertentu. Penguasaan berbagai teknik ini memungkinkan praktisi kesehatan masyarakat untuk "menjahit" intervensi yang paling pas untuk setiap skenario unik di lapangan. Empat teknik utama yang paling sering digunakan dalam program kesehatan masyarakat adalah *fogging*, *Indoor Residual Spraying* (IRS), *Ultra-Low Volume* (ULV), dan penggunaan *Long-Lasting Insecticidal Nets* (LLIN).

Fogging atau pengasapan (*thermal fogging*) adalah teknik yang paling dikenal masyarakat Indonesia. Teknik ini bekerja dengan memanaskan campuran insektisida dan bahan pelarut (biasanya solar atau minyak lain) untuk menghasilkan asap tebal yang terlihat. Partikel asap ini akan menyebar dan membunuh nyamuk dewasa yang sedang terbang atau beristirahat di area terbuka yang terkena asap. *Fogging* sangat populer untuk respons cepat saat wabah DBD karena efek *knockdown*-nya yang dramatis. Namun, efektivitasnya sangat bergantung pada kondisi cuaca (tidak efektif saat hujan atau angin kencang) dan hanya membunuh nyamuk yang terpapar langsung. Partikel asapnya yang relatif besar juga sulit menembus ke dalam celah-celah kecil atau bagian dalam rumah yang tertutup.

Indoor Residual Spraying (IRS) atau Penyemprotan Rumah Residu adalah teknik aplikasi adultisida yang bertujuan untuk meninggalkan lapisan tipis insektisida yang aktif selama berbulan-bulan di permukaan dinding bagian dalam rumah. Konsepnya adalah membunuh vektor yang memiliki perilaku hinggap di dinding sebelum atau sesudah mengisap darah (*endophilic*). IRS merupakan tulang punggung program eliminasi malaria di banyak wilayah, termasuk di Provinsi Nusa Tenggara Timur dan Papua, di mana vektor utamanya, *Anopheles*, cenderung beristirahat di dalam rumah. Keberhasilan IRS sangat bergantung pada cakupan penyemprotan (idealnya >80% rumah di area target), kualitas penyemprotan (dosis dan kerataan), serta jenis permukaan dinding (kurang efektif pada dinding semen yang menyerap).

Teknik *Ultra-Low Volume* (ULV) seringkali disamakan dengan *fogging*, namun keduanya berbeda secara fundamental. ULV menyemprotkan formulasi insektisida yang sangat pekat dalam volume yang sangat kecil, menghasilkan

partikel aerosol (kabut) yang jauh lebih halus (5-20 mikron) dibandingkan *fogging*. Karena partikelnya sangat ringan, kabut ULV dapat melayang di udara lebih lama dan menembus area yang lebih sulit dijangkau. Teknik ini dapat diaplikasikan menggunakan mesin gendong (*portable*) untuk area sempit atau mesin besar yang dipasang di mobil (*vehicle-mounted*) untuk menyisir area pemukiman yang luas dengan cepat. Aplikasi ULV sering dianggap lebih efisien dan ramah lingkungan dibandingkan *thermal fogging* karena tidak memerlukan solar dan jumlah pestisida yang digunakan per hektar lebih sedikit.



Gambar 12.1 Perbedaan Prinsip Kerja Space Spray (Fogging/ULV) dan Residual Spray (IRS)

Diagram tersebut memperjelas bahwa *space spray* menargetkan vektor di udara, sedangkan *residual spray* menargetkan vektor yang kontak dengan permukaan yang telah diolah.

Terakhir, *Long-Lasting Insecticidal Nets* (LLIN) atau Kelambu Berinsektisida Jangka Panjang merupakan pendekatan yang unik. LLIN adalah kelambu yang seratnya telah diresapi insektisida (biasanya piretroid) selama proses produksi. Insektisida ini akan aktif selama 3-5 tahun bahkan setelah dicuci berulang kali. LLIN memberikan dua lapis perlindungan: (1) penghalang fisik antara manusia dan nyamuk saat tidur, dan (2) efek kimiawi yang membunuh atau mengusir nyamuk yang mencoba menembus atau hinggap di kelambu. Distribusi massal LLIN telah terbukti sangat efektif menekan penularan malaria di berbagai negara dan menjadi program prioritas nasional di Indonesia. Keberhasilan LLIN sangat bergantung pada tingkat kepemilikan dan penggunaan yang benar oleh masyarakat.

E. Formulasi dan Dosis Insektisida

Efektivitas dan keamanan pengendalian kimia tidak hanya ditentukan oleh jenis bahan aktif atau teknik aplikasi, tetapi juga oleh formulasi insektisida dan ketepatan dosis yang digunakan. Formulasi adalah bentuk fisik di mana bahan

aktif (AI - *active ingredient*) insektisida disajikan, dicampur dengan bahan-bahan inert lainnya untuk memudahkan penanganan, penyimpanan, dan aplikasi. Memilih formulasi yang salah dapat menyebabkan kegagalan aplikasi, seperti nozzle tersumbat, distribusi yang tidak merata, atau residu yang tidak efektif. Menghitung dosis yang tepat adalah keterampilan inti yang harus dikuasai untuk memastikan efikasi maksimal dengan biaya dan risiko lingkungan seminimal mungkin.

Formulasi insektisida sangat beragam, masing-masing dirancang untuk tujuan spesifik. Beberapa formulasi yang umum digunakan dalam kesehatan masyarakat antara lain:

- a. **Emulsifiable Concentrate (EC):** Konsentrat cair berbasis minyak yang membentuk emulsi (suspensi butiran minyak) ketika dicampur dengan air. Sangat umum digunakan untuk aplikasi *fogging* dan ULV karena mudah larut dalam pelarut minyak seperti solar.
- b. **Wettable Powder (WP):** Bubuk halus yang mengandung AI dan bahan pembasah (*wetting agent*). Ketika dicampur dengan air, ia membentuk suspensi partikel padat. Formulasi ini ideal untuk *Indoor Residual Spraying* (IRS) pada permukaan porous seperti dinding bata atau kayu karena partikelnya cenderung menempel di permukaan dan tidak terserap.
- c. **Suspension Concentrate (SC) atau Flowable (F):** Suspensi pekat dari partikel AI padat dalam cairan. Ini menggabungkan kemudahan penanganan formulasi cair dengan efektivitas residu dari formulasi padat, dan sering menjadi alternatif modern untuk WP dalam program IRS.
- d. **Water-Dispersible Granule (WDG):** Granula kecil yang cepat terdispersi dalam air membentuk suspensi, mirip dengan WP tetapi lebih aman bagi operator karena tidak menghasilkan debu.
- e. **Granule (GR):** Partikel padat siap pakai (tidak perlu dicampur air) yang dirancang untuk ditaburkan. Formulasi ini paling umum untuk larvasida, seperti temefos dalam bentuk pasir (sand granules) yang ditaburkan ke tempat penampungan air.

Menghitung dosis yang benar adalah proses yang kritis untuk menghindari *underdosing* (tidak efektif, membuang sumber daya) dan *overdosing* (toksisitas tinggi, risiko lingkungan, mempercepat resistensi). Perhitungan biasanya melibatkan beberapa variabel: laju aplikasi yang direkomendasikan (misalnya, gram AI per meter persegi untuk IRS atau mililiter AI per hektar untuk ULV), konsentrasi AI dalam produk komersial, dan luas atau volume area target.

CONTOH

Menghitung Kebutuhan Insektisida untuk Fogging Fokus

Seorang sanitarian Puskesmas "Sehat Sentosa" di Kota Depok ditugaskan melakukan *fogging* fokus di sebuah RW yang melaporkan adanya kasus transmisi lokal DBD. Data yang tersedia adalah sebagai berikut:

- **Luas area target:** 4 hektar (ha).
- **Insektisida yang digunakan:** Malathion 96 EC (artinya, mengandung 960 gram bahan aktif malathion per liter produk).
- **Dosis anjuran dari Kemenkes:** 438 gram bahan aktif (AI) per hektar.
- **Pelarut:** Solar, dengan perbandingan campuran 1 bagian insektisida untuk 19 bagian solar.
- **Kapasitas tangki mesin fogging:** 5 liter.

Langkah Perhitungan:

1. Hitung total kebutuhan bahan aktif (AI):

Total AI = Dosis anjuran $\times$ Luas area
Total AI = 438 g/ha $\times$ 4 ha = 1.752 gram AI.

2. Hitung volume insektisida (produk) yang dibutuhkan:

Produk Malathion 96 EC mengandung 960 g AI per liter. Volume produk = Total AI dibutuhkan / Konsentrasi AI produk
Volume produk = 1.752 g / 960 g/L = 1,825 liter.

3. Hitung volume solar yang dibutuhkan:

Perbandingan campuran adalah 1:19. Jadi, untuk setiap 1 liter insektisida, dibutuhkan 19 liter solar. Volume solar = 19 $\times$ Volume produk
Volume solar = 19 $\times$ 1,825 L = 34,675 liter.

4. Hitung total volume campuran:

Total campuran = Volume produk + Volume solar
Total campuran = 1,825 L + 34,675 L = 36,5 liter.

5. Hitung berapa kali pengisian tangki:

Jumlah pengisian = Total volume campuran / Kapasitas tangki
Jumlah pengisian = 36,5 L / 5 L/tangki = 7,3 kali (artinya, tim perlu menyiapkan untuk 8 kali pengisian).

Berdasarkan perhitungan ini, sanitarian dapat menyiapkan 1,825 liter Malathion 96 EC dan 34,675 liter solar untuk melaksanakan kegiatan *fogging* fokus di RW tersebut secara efektif dan sesuai standar.

F. Keselamatan Kerja dan APD

Aplikasi insektisida dalam program pengendalian vektor adalah pekerjaan berisiko tinggi. Insektisida, pada dasarnya, adalah racun yang dirancang untuk membunuh organisme hidup. Meskipun targetnya adalah vektor, paparan yang tidak aman dapat menyebabkan dampak kesehatan serius bagi operator,

masyarakat, dan lingkungan. Oleh karena itu, penerapan prosedur Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) yang ketat serta penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) yang benar dan konsisten bukanlah pilihan, melainkan sebuah keharusan mutlak. Kegagalan dalam aspek ini tidak hanya melanggar etika profesi tetapi juga dapat berakibat fatal.

Risiko utama bagi operator pengendalian vektor berasal dari tiga jalur paparan utama: **dermal** (kontak kulit), **inhalasi** (terhirup), dan **ingesti** (tertelan). Paparan dermal adalah yang paling umum, terjadi saat insektisida tumpah atau menetes ke kulit saat mencampur, mengisi, atau menyemprot. Paparan inhalasi signifikan selama aplikasi *fogging* atau ULV di mana partikel insektisida melayang di udara. Paparan ingesti, meskipun lebih jarang, dapat terjadi akibat kontaminasi tangan yang digunakan untuk makan, minum, atau merokok. Dampak kesehatan dapat bersifat akut (pusing, mual, iritasi kulit/mata, kejang, hingga kematian) atau kronis (kerusakan saraf, gangguan hormonal, atau potensi karsinogenik akibat paparan jangka panjang). Mengidentifikasi dan mengendalikan risiko-risiko ini adalah langkah fundamental dalam setiap program (Fitri, 2022).

Untuk mengelola risiko ini, pendekatan Hirarki Pengendalian Risiko harus diterapkan, yang memprioritaskan tindakan dari yang paling efektif hingga yang paling tidak efektif:

1. **Eliminasi/Substitusi:** Mengganti insektisida yang sangat berbahaya (misalnya, Kelas Toksisitas I WHO) dengan yang lebih aman (misalnya, piretroid atau bio-insektisida).
2. **Pengendalian Teknis (*Engineering Controls*):** Menggunakan peralatan yang dirancang untuk mengurangi paparan, seperti sistem pencampuran tertutup atau nozel anti-tetes pada alat semprot.
3. **Pengendalian Administratif:** Menerapkan Prosedur Operasional Standar (POS) yang aman, seperti rotasi kerja untuk membatasi durasi paparan, menyediakan fasilitas cuci tangan, melarang makan/minum di area kerja, dan memberikan pelatihan K3 secara berkala. Analisis keselamatan kerja (*Job Safety Analysis*) dapat digunakan untuk mengidentifikasi bahaya di setiap langkah pekerjaan dan menetapkan prosedur pengendaliannya (Balili, 2022).
4. **Alat Pelindung Diri (APD):** Ini adalah garis pertahanan terakhir. APD tidak menghilangkan bahaya, tetapi menciptakan penghalang antara bahaya dan pekerja. Penggunaannya harus dipaksakan ketika risiko lain tidak dapat sepenuhnya dihilangkan.

Pemilihan APD yang tepat sangat bergantung pada jenis pekerjaan dan formulasi insektisida yang digunakan. Sebagai contoh, seorang petugas di Puskesmas Kabupaten Lima Puluh Kota, Sumatera Barat, yang bertugas

mencampur formulasi pekat (EC atau WP) harus menggunakan APD yang lebih lengkap dibandingkan petugas yang hanya menaburkan larvasida dalam bentuk granula. Praktik penggunaan pestisida yang seringkali kurang aman di kalangan petani (Situmorang, 2021) harus menjadi pembeda tegas dengan standar profesional yang diterapkan dalam program kesehatan masyarakat.

PERHATIAN

APD hanya efektif jika digunakan dengan benar, dirawat dengan baik, dan diganti secara teratur. Menggunakan sarung tangan yang sobek atau respirator dengan filter yang sudah jenuh sama berbahayanya dengan tidak menggunakan APD sama sekali.

Secara umum, APD minimum untuk operator pengendalian vektor meliputi:

1. **Pakaian Pelindung (*Coverall*):** Pakaian terusan berlengan panjang yang terbuat dari bahan yang tahan terhadap penetrasi bahan kimia.
2. **Sarung Tangan Kimia:** Terbuat dari bahan seperti nitril atau neoprene, bukan sarung tangan katun atau kulit yang justru dapat menyerap dan menahan insektisida di kulit.
3. **Sepatu Bot Karet:** Melindungi kaki dari tumpahan dan semprotan. Ujung celana harus berada di luar sepatu bot, bukan dimasukkan ke dalam.
4. **Pelindung Mata dan Wajah:** Kacamata pengaman (*goggles*) atau pelindung wajah (*face shield*) untuk mencegah cipratan masuk ke mata, terutama saat mencampur.
5. **Pelindung Pernapasan (*Respirator*):** Jenisnya bervariasi. Untuk debu dari formulasi WP, masker partikulat (seperti N95) mungkin cukup. Untuk uap dari *fogging* atau ULV, diperlukan respirator dengan kartrid penyaring uap organik.
6. **Topi atau Penutup Kepala:** Melindungi kepala dan leher dari semprotan yang jatuh.

Setiap selesai bekerja, operator harus segera membersihkan diri (mandi dengan sabun) dan mencuci APD secara terpisah dari pakaian lain sesuai instruksi. Kepatuhan terhadap prosedur ini adalah cerminan profesionalisme dan komitmen institusi kesehatan terhadap keselamatan personelya.

G. Dampak Lingkungan dan Keamanan Pestisida

Meskipun pengendalian kimia merupakan alat yang ampuh dalam menekan penyakit tular vektor, penggunaannya ibarat pedang bermata dua. Di satu sisi, ia dapat menyelamatkan nyawa dengan memutus rantai penularan secara cepat. Di sisi lain, pelepasan senyawa kimia bioaktif secara sengaja ke lingkungan pasti menimbulkan konsekuensi. Sebagai calon praktisi kesehatan masyarakat, Anda memiliki tanggung jawab etis dan profesional untuk tidak hanya mempertimbangkan efikasi program, tetapi juga menganalisis dan memitigasi

dampak negatifnya terhadap ekosistem dan kesehatan manusia non-target. Pengabaian terhadap aspek ini dapat menciptakan masalah baru yang lebih kompleks di masa depan, seperti kontaminasi sumber air, hilangnya keanekaragaman hayati, dan masalah keamanan pangan.

Dampak lingkungan dari aplikasi insektisida dapat dikategorikan menjadi beberapa area utama. Pertama, **dampak terhadap organisme non-target**. Semprotan insektisida, terutama yang diaplikasikan secara luas seperti *fogging* atau *space spraying*, tidak bersifat selektif. Senyawa ini dapat membunuh serangga lain yang bermanfaat, seperti lebah sebagai polinator, atau predator alami vektor seperti laba-laba dan capung. Kematian organisme non-target ini dapat mengganggu keseimbangan ekosistem lokal. Kedua, **kontaminasi air dan tanah**. Insektisida yang disemprotkan dapat terbawa aliran air hujan (*runoff*) ke sungai, danau, atau kolam, yang sangat toksik bagi kehidupan akuatik seperti ikan dan invertebrata. Residu insektisida juga dapat terakumulasi di dalam tanah, memengaruhi mikroorganisme tanah dan berpotensi diserap oleh tanaman. Upaya pengendalian pencemaran lingkungan ini menjadi semakin penting, sejalan dengan semangat untuk menjaga kelestarian lingkungan hidup (Rahmayani, 2021; Sriyanti, 2023).

Selain dampak ekologis, keamanan pestisida juga menyangkut **kesehatan manusia dan keamanan pangan**. Aplikasi yang tidak hati-hati di area pemukiman yang berdekatan dengan kebun sayur atau peternakan skala kecil (misalnya, ayam atau ikan lele di kolam terpal) dapat menyebabkan kontaminasi produk pangan. Residu pestisida pada sayuran atau di air kolam dapat terakumulasi dan menimbulkan risiko kesehatan bagi yang mengonsumsinya. Di Indonesia, di mana batas antara area pemukiman dan lahan pertanian seringkali kabur, risiko ini sangat nyata. Sebagai contoh, pelaksanaan *fogging* DBD di sebuah kelurahan padat di Kota Semarang harus memperhitungkan keberadaan warung hidup dan kebun pekarangan milik warga. Komunikasi risiko dan pemberitahuan jadwal penyemprotan menjadi krusial agar warga dapat menutup kolam ikan dan memanen sayuran sebelum kegiatan dilakukan.

Untuk meminimalkan dampak negatif ini, beberapa strategi mitigasi harus diintegrasikan ke dalam perencanaan dan pelaksanaan program:

1. **Penerapan Prinsip Pengendalian Vektor Terpadu (PVT):** Seperti yang akan dibahas lebih dalam di Bab 14, PVT menekankan penggunaan insektisida sebagai pilihan terakhir atau sebagai bagian dari strategi multi-intervensi, bukan sebagai satu-satunya solusi. Prioritas harus diberikan pada pengendalian lingkungan (Bab 10) dan metode non-kimia (Bab 11).
2. **Pemilihan Insektisida yang Tepat:** Memilih insektisida yang lebih spesifik targetnya, memiliki toksisitas rendah terhadap mamalia dan ikan, serta dapat terurai di lingkungan dengan cepat (*non-persistent*). Pengembangan

dan penggunaan pestisida nabati atau biopestisida juga merupakan alternatif yang menjanjikan untuk mengurangi ketergantungan pada kimia sintetis (I., 2022).

3. **Aplikasi yang Tepat Sasaran:** Menggunakan teknik dan waktu aplikasi yang memaksimalkan kontak dengan vektor dan meminimalkan penyebaran ke area non-target. Misalnya, melakukan IRS hanya di dalam rumah, atau melakukan *fogging* pada jam aktif nyamuk (*Aedes aegypti* di pagi dan sore hari).
4. **Manajemen dan Pembuangan Limbah yang Benar:** Wadah bekas insektisida dan sisa larutan semprot adalah limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Wadah harus dirusak (misalnya dilubangi) agar tidak digunakan kembali, kemudian dikubur di lokasi yang aman dan jauh dari sumber air, sesuai dengan peraturan yang berlaku. Pengelolaan sampah yang baik adalah bagian tak terpisahkan dari program yang bertanggung jawab (Harmana, 2021).
5. **Kajian Dampak Lingkungan:** Untuk program berskala besar, pelaksanaan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) atau setidaknya Upaya Pengelolaan Lingkungan dan Upaya Pemantauan Lingkungan (UKL-UPL) menjadi instrumen penting untuk memprediksi dan mengendalikan dampak lingkungan sejak tahap perencanaan (Herlina, 2021).

Pada akhirnya, tujuan pengendalian vektor bukanlah untuk membasmi habis semua serangga, melainkan untuk menekan populasi vektor di bawah ambang batas penularan penyakit. Mencapai tujuan ini sambil menjaga kesehatan lingkungan dan keamanan publik adalah tantangan sekaligus tolok ukur keberhasilan seorang profesional kesehatan masyarakat modern.

H. Rangkuman

Pengendalian kimiawi vektor menuntut pemilihan strategis antara insektisida yang menargetkan fase akuatik (larvasida) dan fase terbang (adultisida), serta penentuan teknik aplikasi yang presisi. Larvasida, seperti temefos yang digunakan dalam program PSN-Jumantik, bekerja secara proaktif dan preventif dengan memutus siklus hidup vektor pada sumbernya di habitat perindukan. Pendekatan ini menekan populasi generasi berikutnya, meskipun efektivitasnya bergantung pada kemampuan menemukan semua tempat perindukan. Sebaliknya, adultisida bersifat reaktif, memberikan efek *knockdown* cepat untuk memutus rantai penularan saat terjadi lonjakan kasus atau wabah. Teknik aplikasi adultisida bervariasi sesuai tujuan: *fogging* dan *Ultra-Low Volume* (ULV) digunakan untuk menyasar vektor di ruang terbuka secara cepat, dengan ULV menawarkan efisiensi partikel yang lebih baik. Sementara itu, *Indoor Residual Spraying* (IRS) dirancang untuk meninggalkan lapisan residu insektisida di dinding dalam rumah, sangat efektif untuk mengendalikan vektor *endophilic*

seperti nyamuk *Anopheles* penyebab malaria. Kunci keberhasilan program tidak terletak pada superioritas satu metode, melainkan pada kemampuan praktisi kesehatan masyarakat untuk melakukan analisis situasional yang cermat dan mengombinasikan berbagai jenis insektisida dan teknik aplikasi ini secara bijak dalam kerangka Pengendalian Vektor Terpadu (PVT), dengan mempertimbangkan epidemiologi penyakit, biologi vektor, dan sumber daya yang tersedia.

I. Latihan Mahasiswa

a. Essay

1. Bandingkan efektivitas strategis antara program larvasiding rutin melalui PSN-Jumantik dengan intervensi adultisiding (*fogging*) dalam mengendalikan wabah DBD di wilayah perkotaan padat. Analisislah keunggulan dan kelemahan fundamental masing-masing pendekatan dari perspektif dampak jangka pendek dan panjang serta keberlanjutan program.
2. Telaah mengapa *Indoor Residual Spraying* (IRS) dianggap sebagai strategi yang lebih efektif untuk pengendalian vektor malaria (*Anopheles*) dibandingkan *fogging*, meskipun keduanya sama-sama menggunakan adultisida. Evaluasi faktor-faktor biologis vektor dan perilaku manusia yang menentukan keberhasilan atau kegagalan program IRS di lapangan.
3. Anda adalah kepala dinas kesehatan di sebuah kabupaten yang mengalami peningkatan kasus DBD dan malaria secara bersamaan di lokasi yang berbeda. Rumuskan kerangka program pengendalian vektor kimiawi terpadu yang mengombinasikan penggunaan larvasida dan adultisida, serta teknik aplikasi yang berbeda, untuk mengatasi kedua penyakit tersebut secara simultan dan efisien.
4. Analisis perbedaan fundamental antara teknik *thermal fogging* dan *Ultra-Low Volume* (ULV) dari segi mekanisme kerja, efisiensi penghantaran insektisida, dan dampak lingkungan. Mengapa ULV sering dianggap sebagai alternatif yang lebih superior secara teknis meskipun *fogging* lebih populer dan dikenal oleh masyarakat awam?
5. Argumentasikan pernyataan berikut: "Fokus berlebihan pada *fogging* sebagai respons utama terhadap wabah DBD adalah sebuah kegagalan strategis dalam kesehatan masyarakat karena menciptakan rasa aman palsu dan mengabaikan akar masalah." Gunakan konsep larvasiding dan risiko resistensi insektisida untuk mendukung argumen Anda.

b. Pilihan Berganda

1. Prinsip kerja utama dari larvasida dalam pengendalian vektor adalah...
 - a. Memberikan efek knockdown cepat pada nyamuk dewasa
 - b. Memutus siklus hidup vektor sebelum mencapai stadium dewasa

- c. Meninggalkan lapisan residu aktif pada dinding rumah
 - d. Mengusir nyamuk dari area pemukiman penduduk
2. Intervensi pengendalian vektor yang paling tepat diklasifikasikan sebagai tindakan reaktif dan responsif terhadap kondisi darurat adalah...
 - a. Program juru pemantau jentik (jumantik) rutin
 - b. Pemberian bubuk temefos pada bak mandi setiap minggu
 - c. Pelaksanaan pengasapan (fogging) saat terjadi wabah DBD
 - d. Pemanfaatan bakteri Bti di lokasi perindukan
 3. Seorang kader jumantik menemukan banyak jentik di sebuah drum penampungan air di rumah warga. Tindakan pengendalian kimiawi yang paling tepat untuk diaplikasikan sesuai program PSN 3M Plus adalah...
 - a. Menaburkan larvasida granula seperti temefos ke dalam drum
 - b. Melakukan penyemprotan insektisida di sekitar drum
 - c. Memasang kelambu berinsektisida di atas drum
 - d. Mengasapi bagian dalam drum dengan mesin fogging mini
 4. Tujuan utama dari kegiatan pengasapan atau *fogging* yang dilakukan saat terjadi wabah Demam Berdarah Dengue adalah untuk...
 - a. Membunuh semua jentik nyamuk di selokan dan genangan air
 - b. Mencegah nyamuk bertelur di tempat penampungan air
 - c. Memberikan perlindungan jangka panjang dari gigitan nyamuk
 - d. Membunuh nyamuk dewasa yang terinfeksi virus dengue sesegera mungkin
 5. Teknik *Indoor Residual Spraying* (IRS) paling efektif untuk mengendalikan vektor yang memiliki perilaku...
 - a. Endofilik, yaitu beristirahat di dalam rumah setelah mengisap darah
 - b. Eksofagik, yaitu mencari makan di luar rumah
 - c. Akuatik, yaitu menghabiskan sebagian besar hidupnya di air
 - d. Fototaksis positif, yaitu sangat tertarik pada cahaya
 6. Perbedaan teknis paling mendasar antara *thermal fogging* dan *Ultra-Low Volume* (ULV) terletak pada...
 - a. Jenis bahan aktif insektisida yang digunakan
 - b. Ukuran partikel (droplet) yang dihasilkan dan penggunaan pelarut
 - c. Stadium target vektor (larva atau dewasa)
 - d. Waktu aplikasi (pagi atau malam hari)
 7. Tantangan utama yang sering dihadapi dalam program pengendalian larva (larvasiding) nyamuk *Aedes aegypti* di perkotaan adalah...
 - a. Harga bahan larvasida yang sangat mahal
 - b. Risiko resistensi yang muncul sangat cepat
 - c. Kesulitan untuk menemukan dan menjangkau semua tempat perindukan potensial

- d. Efek larvasida yang merusak tempat penampungan air
- 8. Istilah "efek knockdown" dalam konteks penggunaan adultisida merujuk pada kemampuan insektisida untuk...
 - a. Membuat vektor lumpuh dan mati dalam waktu yang sangat singkat
 - b. Mencegah telur vektor menetas menjadi larva
 - c. Mengusir vektor dari suatu area tanpa membunuhnya
 - d. Membuat vektor menjadi steril sehingga tidak dapat bereproduksi
- 9. Efektivitas *fogging* seringkali bersifat sementara karena intervensi ini...
 - a. Hanya membunuh nyamuk betina dan tidak membunuh nyamuk jantan
 - b. Tidak mengatasi sumber masalah, yaitu jentik yang terus berkembang menjadi dewasa
 - c. Menggunakan dosis insektisida yang terlalu rendah untuk membunuh secara permanen
 - d. Kabut asapnya tidak dapat menembus ke dalam rumah sama sekali
- 10. Untuk program eliminasi malaria di Papua yang vektor utamanya adalah *Anopheles* sp. yang beristirahat di dalam rumah, kombinasi intervensi kimiawi yang paling strategis adalah...
 - a. *Fogging* massal di seluruh desa setiap minggu
 - b. Distribusi larvasida temefos ke setiap rumah untuk bak mandi
 - c. Program PSN 3M Plus yang berfokus pada penutupan tempat air
 - d. *Indoor Residual Spraying* (IRS) dengan cakupan tinggi dan larvasiding di habitat spesifik

c. Soal Project / Studi Kasus

1. Sebuah kelurahan padat penduduk di kota besar melaporkan peningkatan kasus DBD yang signifikan dalam dua minggu terakhir, mencapai status Kejadian Luar Biasa (KLB). Warga panik dan menuntut pemerintah untuk segera melakukan *fogging* di seluruh wilayah. Data dari survei jentik oleh puskesmas menunjukkan Angka Bebas Jentik (ABJ) hanya 60%, jauh di bawah target >95%. Sebagai kepala puskesmas, Anda dihadapkan pada tekanan publik dan data epidemiologi. Susunlah rencana respons yang komprehensif. Jelaskan bagaimana Anda akan mengintegrasikan intervensi reaktif (permintaan warga) dengan strategi proaktif jangka panjang. Uraikan peran larvasiding, adultisiding (*fogging*), dan edukasi masyarakat dalam rencana Anda, serta bagaimana Anda akan mengomunikasikannya kepada warga.
2. Sebuah perusahaan pertambangan membuka lokasi baru di daerah rural endemis malaria di Kalimantan. Proyek ini melibatkan pembangunan kamp pekerja sementara dan akses jalan baru yang tanpa sengaja menciptakan banyak genangan air dan mengubah hidrologi lokal. Data

entomologi awal menunjukkan peningkatan kepadatan nyamuk *Anopheles*. Sebagai konsultan kesehatan masyarakat yang disewa perusahaan, rancanglah strategi pengendalian vektor kimiawi untuk melindungi para pekerja dan masyarakat sekitar dari wabah malaria. Evaluasi prioritas dan kelayakan antara penggunaan larvasida pada genangan baru, pelaksanaan IRS di kamp dan desa sekitar, serta distribusi massal kelambu berinsektisida (*Long-Lasting Insecticidal Nets* - LLIN).

BAB 13

RESISTENSI INSEKTISIDA

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah menyelesaikan pembahasan pada bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menentukan potensi mekanisme resistensi (metabolik, target-site, kutikula, atau perilaku) berdasarkan deskripsi data kasus lapangan dari suatu daerah endemis di Indonesia.
2. Mendemonstrasikan prosedur standar bioassay, seperti WHO *tube test* atau *bottle bioassay*, untuk menguji status resistensi populasi nyamuk *Aedes aegypti* terhadap insektisida golongan piretroid.
3. Menentukan status resistensi (rentan, terduga resisten, atau resisten) suatu populasi vektor dengan menghitung tingkat mortalitas dari data hasil bioassay sesuai kriteria WHO.
4. Memilih kombinasi insektisida yang tepat untuk diimplementasikan dalam sebuah program rotasi berdasarkan data profil resistensi dan mekanisme kerja yang berbeda.
5. Menerapkan prinsip-prinsip Manajemen Resistensi Insektisida (IRM) dalam menyusun sebuah kerangka rencana operasional pengendalian vektor terpadu (PVT) untuk tingkat puskesmas.

B. Pengantar

Penggunaan insektisida kimiawi sejak pertengahan abad ke-20 tidak diragukan lagi telah menjadi salah satu pilar utama keberhasilan program kesehatan masyarakat global dalam menekan penyakit tular vektor. Namun, keberhasilan ini membawa konsekuensi evolusioner yang tak terhindarkan: muncul dan menyebarnya resistensi insektisida pada populasi vektor. **Konsep** resistensi ini pada dasarnya adalah manifestasi seleksi alam yang dipercepat oleh tekanan selektif dari aplikasi insektisida secara masif dan berulang. Individu vektor yang secara genetik memiliki kemampuan untuk bertahan hidup dari paparan insektisida akan bereproduksi dan mewariskan gen resistensi tersebut kepada keturunannya, sehingga secara bertahap mengubah komposisi genetik seluruh populasi. **Contoh** konkret dari fenomena ini dapat kita saksikan di berbagai kota besar di Indonesia. Laporan dari berbagai studi di Jakarta, Surabaya, dan Semarang secara konsisten menunjukkan bahwa populasi nyamuk *Aedes aegypti*, vektor Demam Berdarah Dengue (DBD), telah mengembangkan tingkat resistensi yang tinggi terhadap insektisida piretroid yang umum digunakan dalam kegiatan pengasapan (*fogging*). **Implikasi** dari

kondisi ini sangat serius: program *fogging* yang selama ini menjadi andalan masyarakat dan pemerintah dalam merespons kasus DBD menjadi semakin tidak efektif. Nyamuk tidak lagi mati dalam jumlah signifikan pasca-aplikasi, menyebabkan siklus penularan penyakit terus berjalan, angka kesakitan tetap tinggi, dan sumber daya program terbuang sia-sia. Fenomena ini memaksa para praktisi kesehatan masyarakat untuk secara fundamental mengevaluasi kembali strategi pengendalian vektor yang selama ini bergantung pada satu jenis intervensi kimiawi.

Bagi Anda sebagai calon sarjana kesehatan masyarakat, memahami resistensi insektisida bukan lagi sekadar pengetahuan teoretis, melainkan sebuah kompetensi inti yang bersifat aplikatif dan krusial di lapangan. Anda akan berada di garis depan perancangan, implementasi, dan evaluasi program pengendalian vektor. **Konsep** bahwa efektivitas program tidak lagi dapat diasumsikan, melainkan harus diukur dan dikelola secara aktif, menjadi sentral. Anda harus mampu "mendiagnosis" masalah resistensi di wilayah kerja Anda sebelum "meresepkan" intervensi yang tepat. **Contoh** situasionalnya adalah ketika seorang kepala puskesmas di sebuah kabupaten endemis malaria di Papua dihadapkan pada data surveilans yang menunjukkan program penyemprotan dinding rumah (*Indoor Residual Spraying / IRS*) dengan insektisida Lambda-sihalotrin tidak lagi mampu menurunkan populasi nyamuk *Anopheles* secara signifikan. Tanpa pemahaman tentang resistensi, ia mungkin akan mengusulkan penambahan frekuensi atau dosis penyemprotan—sebuah tindakan yang tidak hanya boros tetapi juga dapat memperparah tingkat resistensi. **Implikasi** dari penguasaan materi ini adalah kemampuan Anda untuk membuat keputusan berbasis bukti (*evidence-based decision making*). Dengan bekal pengetahuan dari bab ini, Anda akan mampu mengusulkan pelaksanaan uji bioassay untuk mengonfirmasi status resistensi, menginterpretasi hasilnya, dan merekomendasikan strategi alternatif yang lebih efektif, seperti melakukan rotasi dengan insektisida dari golongan lain (misalnya, karbamat) atau memperkuat intervensi non-kimiawi seperti distribusi kelambu berinsektisida (LLIN) dan manajemen lingkungan.

Untuk membekali Anda dengan kompetensi tersebut, bab ini akan memandu Anda secara sistematis melalui berbagai aspek resistensi insektisida. Pembahasan akan diawali dengan pembedahan mendalam mengenai **konsep dan mekanisme resistensi** pada level fisiologis dan genetik. Selanjutnya, Anda akan mempelajari keterampilan praktis melalui pembahasan **metode pengujian (bioassay)** untuk mendeteksi dan mengukur resistensi di lapangan. Bab ini kemudian akan melatih kemampuan analisis Anda dalam **interpretasi hasil resistensi** untuk pengambilan keputusan program. Sebagai puncak dari pembahasan, kita akan mengeksplorasi strategi mitigasi, termasuk prinsip

rotasi insektisida dan kerangka kerja komprehensif untuk **manajemen resistensi insektisida** sebagai bagian tak terpisahkan dari Pengendalian Vektor Terpadu (PVT).

C. Konsep dan mekanisme resistensi

Resistensi insektisida didefinisikan sebagai perkembangan kemampuan yang dapat diwariskan pada suatu strain populasi vektor untuk bertahan hidup dari paparan dosis insektisida yang terbukti mematikan bagi mayoritas populasi normal (rentan) dari spesies yang sama. Penting untuk digarisbawahi bahwa resistensi adalah fenomena populasi, bukan individu, dan bersifat genetik. Tekanan seleksi dari aplikasi insektisida yang intensif dan berulang tidak menciptakan individu resisten, melainkan menyeleksi individu yang secara alamiah telah memiliki gen resistensi untuk bertahan hidup dan bereproduksi. Seiring waktu, frekuensi gen resistensi ini meningkat dalam populasi, menyebabkan efikasi insektisida menurun drastis. Fenomena ini telah menjadi tantangan utama dalam program pengendalian Demam Berdarah Dengue (DBD) di Indonesia, di mana studi di kota-kota besar seperti Bengkulu secara konsisten melaporkan populasi *Aedes aegypti* yang sangat resisten terhadap insektisida golongan piretroid yang umum digunakan dalam *fogging* (Triana, 2021). Kegagalan pengendalian ini bukan disebabkan oleh kesalahan aplikasi, melainkan karena perubahan biologis pada target vektor itu sendiri.

Secara fundamental, terdapat empat mekanisme utama yang mendasari resistensi insektisida pada vektor, yang dapat terjadi secara tunggal maupun kombinasi:

1. Resistensi Metabolik

Ini adalah mekanisme yang paling umum dan seringkali paling signifikan. Vektor resisten memiliki kemampuan untuk mendetoksifikasi atau menguraikan molekul insektisida menjadi senyawa yang tidak beracun sebelum mencapai targetnya di dalam tubuh. Kemampuan ini dimediasi oleh peningkatan aktivitas atau jumlah dari tiga kelompok enzim detoksifikasi utama:

- a. Sitokrom P450 monooksigenase (P450s):** Berperan dalam metabolisme berbagai jenis insektisida, termasuk piretroid, organofosfat, dan karbamat.
- b. Glutation S-transferase (GSTs):** Terutama terlibat dalam detoksifikasi organofosfat dan organoklorin seperti DDT.
- c. Esterase (ESTs):** Sangat efektif dalam menghidrolisis insektisida golongan organofosfat dan piretroid. Peningkatan aktivitas esterase adalah salah satu mekanisme resistensi yang paling sering dilaporkan pada populasi *Culex* dan *Aedes* di berbagai belahan dunia, termasuk Indonesia.

2. Resistensi Target-Situs (Target-Site)

Mekanisme ini melibatkan perubahan atau mutasi pada protein target di mana insektisida seharusnya berikatan. Akibat mutasi ini, afinitas ikatan

insektisida terhadap targetnya menurun drastis, sehingga insektisida menjadi tidak efektif. Contoh paling klasik adalah mutasi *knockdown resistance* (kdr) pada kanal natrium bergerbang voltase (*voltage-gated sodium channel*), yang merupakan target utama insektisida piretroid dan DDT. Mutasi ini mencegah insektisida mengganggu fungsi normal sistem saraf serangga. Varian mutasi kdr yang berbeda telah teridentifikasi pada populasi *Aedes aegypti* di berbagai kota di Indonesia, yang menjelaskan mengapa *fogging* dengan piretroid seringkali gagal melumpuhkan nyamuk. Mekanisme serupa juga terjadi pada resistensi terhadap organofosfat dan karbamat, yang melibatkan mutasi pada enzim asetilkolinesterase (AChE).

3. Resistensi Kutikula

Mekanisme ini bersifat struktural, di mana terjadi penebalan atau perubahan komposisi kutikula (kerangka luar) serangga. Kutikula yang lebih tebal atau lebih hidrofobik dapat memperlambat laju penyerapan insektisida ke dalam tubuh vektor. Meskipun jarang menjadi satu-satunya penyebab resistensi tingkat tinggi, resistensi kutikula seringkali bekerja secara sinergis dengan resistensi metabolik. Dengan memperlambat laju penetrasi, mekanisme ini memberikan lebih banyak waktu bagi enzim detoksifikasi untuk menguraikan insektisida sebelum mencapai targetnya.

4. Resistensi Perilaku

Resistensi perilaku adalah perubahan perilaku yang dapat diwariskan yang membantu vektor menghindari kontak dengan insektisida. Contohnya termasuk:

- a. **Perubahan preferensi istirahat:** Nyamuk yang sebelumnya bersifat endofilik (suka beristirahat di dalam rumah) menjadi lebih eksofilik (beristirahat di luar rumah) untuk menghindari paparan dari penyemprotan dinding rumah (*Indoor Residual Spraying/IRS*).
- b. **Peningkatan iritabilitas:** Nyamuk menjadi lebih cepat terganggu dan terbang menjauh saat kontak dengan permukaan yang diberi insektisida, sebelum menyerap dosis yang mematikan.

Mekanisme ini lebih sulit untuk diukur dibandingkan mekanisme fisiologis, namun memiliki implikasi programatik yang signifikan, karena dapat mengurangi efektivitas intervensi seperti IRS dan kelambu berinsektisida.

CONTOH

Di sebuah kelurahan di Jakarta, ditemukan populasi *Aedes aegypti* yang tetap tinggi meskipun *fogging* dengan sipermetrin (piretroid) dilakukan secara rutin. Setelah diuji di laboratorium, ditemukan bahwa nyamuk tersebut memiliki mutasi kdr V1016G dan F1534C, serta peningkatan aktivitas enzim P450 yang signifikan. Ini adalah contoh klasik kombinasi resistensi target-situs dan metabolik, yang menjelaskan mengapa insektisida tersebut tidak lagi efektif.

D. Metode Pengujian (*bioassay*)

Untuk mengetahui status resistensi suatu populasi vektor di lapangan, diperlukan pengujian biologis atau *bioassay*. Metode ini merupakan "gold standard" untuk mendeteksi dan mengukur resistensi secara fenotipik (teramati), yaitu dengan memaparkan langsung populasi vektor pada dosis diagnostik insektisida dan mengamati tingkat kematiannya. Pelaksanaan *bioassay* secara berkala adalah komponen krusial dalam surveilans entomologi, karena hasilnya menjadi dasar bagi pengambilan keputusan dalam program pengendalian vektor, seperti pemilihan insektisida yang tepat. Tanpa data *bioassay*, program berisiko membuang sumber daya pada intervensi kimiawi yang sudah tidak efektif. Terdapat beberapa metode standar yang direkomendasikan oleh Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) untuk pengujian resistensi pada nyamuk dewasa dan larva.

Metode yang paling umum digunakan untuk menguji resistensi nyamuk dewasa adalah *WHO tube test*. Prosedur ini sangat terstandarisasi untuk memastikan hasilnya dapat dibandingkan antar lokasi dan waktu.



Gambar 13.1 Prosedur Standar Uji Resistensi Insektisida Menggunakan Metode WHO Tube Test

Seperti diilustrasikan pada gambar di atas, prosedur ini melibatkan pemaparan nyamuk pada kertas yang diimpregnasi dengan konsentrasi diagnostik insektisida selama satu jam, diikuti dengan periode pemulihan selama 24 jam sebelum mortalitas dihitung.

Langkah-langkah kunci dalam *WHO tube test* adalah sebagai berikut:

- 1. Pengumpulan Sampel:** Nyamuk uji (biasanya betina non-gravid berumur 3-5 hari) dapat berasal dari koloni laboratorium atau hasil penangkapan dari lapangan (F1, yaitu keturunan pertama dari telur nyamuk lapangan yang ditetaskan di laboratorium).
- 2. Persiapan Alat:** Kit uji standar WHO terdiri dari tabung pemaparan (*exposure tube*), tabung penahan (*holding tube*), dan unit geser (*slide unit*).

Kertas saring diresapi dengan konsentrasi diagnostik insektisida yang telah ditentukan oleh WHO untuk setiap kombinasi spesies vektor dan insektisida. Sebuah tabung kontrol dengan kertas yang hanya diresapi minyak pelarut (tanpa insektisida) juga harus disiapkan.

3. **Pemaparan (*Exposure*):** Sekitar 20-25 ekor nyamuk dimasukkan ke dalam tabung penahan, kemudian dipindahkan ke tabung pemaparan selama 60 menit.
4. **Pemulihan (*Recovery*):** Setelah 60 menit, nyamuk dipindahkan kembali ke tabung penahan yang bersih, lalu diberi akses ke larutan gula (misalnya kapas basah dengan air gula 10%).
5. **Pengamatan Mortalitas:** Jumlah nyamuk yang mati dihitung setelah 24 jam. Nyamuk dianggap mati jika tidak dapat berdiri atau terbang dalam gerakan terkoordinasi.

Alternatif lain yang sering digunakan, terutama di Amerika Serikat, adalah *CDC bottle bioassay*. Metode ini melibatkan pelapisan bagian dalam botol kaca dengan larutan insektisida. Nyamuk kemudian dimasukkan ke dalam botol tersebut dan waktu yang dibutuhkan hingga nyamuk tidak bisa lagi berdiri (*knockdown*) atau mati dicatat. Metode ini lebih cepat, namun memerlukan kalibrasi yang cermat untuk menentukan waktu diagnostik. Selain uji untuk nyamuk dewasa, terdapat pula **uji bioassay larva**, di mana larva instar III atau awal instar IV dipaparkan pada berbagai konsentrasi larvasida dalam air selama 24 jam untuk menentukan konsentrasi letal (misalnya, LC50 dan LC95). Uji ini penting untuk mengevaluasi efektivitas program larvasiding, termasuk saat menggunakan biolarvasida dari bahan nabati seperti ekstrak daun pandan wangi (Putri, 2022) atau daun pepaya (Dhenge, 2021). Pelaksanaan uji ini di fasilitas seperti Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit (BBTKLPP) di berbagai provinsi di Indonesia sangat vital untuk memetakan status resistensi secara nasional.

E. Interpretasi Hasil Resistensi

Setelah melakukan bioassay, langkah selanjutnya yang tidak kalah penting adalah menginterpretasikan hasilnya dengan benar untuk menghasilkan rekomendasi yang dapat ditindaklanjuti oleh manajer program. Interpretasi ini tidak hanya sebatas menyatakan "resisten" atau "rentan", tetapi juga memahami tingkat kepastian dari hasil tersebut dan implikasi operasionalnya. WHO telah menetapkan kriteria standar untuk menginterpretasikan hasil mortalitas dari bioassay nyamuk dewasa setelah 24 jam pemaparan. Kriteria ini menjadi acuan global yang memungkinkan perbandingan data antar wilayah dan waktu. Sebelum melakukan interpretasi, penting untuk memastikan validitas pengujian. Jika mortalitas pada kelompok kontrol (nyamuk yang dipapar kertas tanpa insektisida) adalah antara 5% hingga 20%, maka mortalitas pada kelompok uji

harus dikoreksi menggunakan Rumus Abbott. Jika mortalitas kontrol melebihi 20%, maka seluruh pengujian dianggap tidak valid dan harus diulang.

Rumus Abbott yang dimaksud adalah sebagai berikut: Mortalitas Terkoreksi (%) = $[(\% \text{ Mortalitas Uji} - \% \text{ Mortalitas Kontrol}) / (100 - \% \text{ Mortalitas Kontrol})] \times 100$

Setelah mendapatkan angka mortalitas yang valid (jika perlu, terkoreksi), status resistensi populasi vektor ditentukan berdasarkan ambang batas yang telah ditetapkan.

Tabel 13.1 Interpretasi Hasil Uji Bioassay Resistensi Insektisida (WHO)

Mortalitas 24 Jam (%)	Status Resistensi	Implikasi untuk Program Pengendalian Vektor
98 – 100%	Rentan (Susceptible)	Insektisida masih sangat efektif. Dapat terus digunakan sesuai rekomendasi. Monitoring tetap diperlukan secara berkala (misal, setiap 2-3 tahun).
90 – 97%	Terduga Resisten (Suspected Resistance)	Kehadiran gen resistensi dalam populasi terkonfirmasi. Insektisida mungkin mulai kehilangan efektivitasnya. Perlu investigasi lebih lanjut dengan meningkatkan jumlah sampel dan lokasi uji. Pertimbangkan untuk memulai perencanaan strategi manajemen resistensi.
< 90%	Resisten (Confirmed Resistance)	Insektisida tidak lagi efektif untuk mengendalikan populasi vektor ini. Penggunaannya untuk tujuan tersebut harus segera dihentikan. Program harus beralih menggunakan insektisida dari golongan kimia lain dengan mekanisme kerja yang berbeda.

Interpretasi ini memberikan panduan yang jelas untuk pengambilan keputusan. Sebagai contoh, jika hasil uji *Aedes aegypti* di Kota Surabaya terhadap insektisida malathion (golongan organofosfat) menunjukkan mortalitas 99%, maka program *fogging* dengan malathion di wilayah tersebut dapat dilanjutkan karena populasinya masih rentan. Namun, jika hasil uji terhadap sipernetrin (golongan piretroid) di lokasi yang sama menunjukkan mortalitas hanya 45%,

ini adalah indikasi kuat adanya resistensi yang mapan. Sesuai kriteria pada Tabel 13.1, penggunaan sipermetrin untuk *fogging* di Surabaya harus dihentikan karena tidak akan memberikan dampak pengendalian yang signifikan dan hanya akan memperparah seleksi resistensi. Manajer program harus segera mencari alternatif insektisida dari golongan non-piretroid, seperti yang akan dibahas pada sub-bab berikutnya. Status "Terduga Resisten" adalah sinyal peringatan dini yang tidak boleh diabaikan. Ini adalah jendela kesempatan bagi program untuk bertindak proaktif sebelum resistensi menyebar luas dan menyebabkan kegagalan total intervensi. Tindakan pada tahap ini dapat mencakup peningkatan frekuensi monitoring, melakukan uji molekuler untuk mengidentifikasi mekanisme resistensi, dan mulai menyusun rencana rotasi insektisida.

F. Rotasi Insektisida

Ketika data bioassay mengonfirmasi adanya resistensi terhadap suatu insektisida (mortalitas <90%), strategi yang paling umum direkomendasikan adalah menghentikan penggunaan insektisida tersebut dan menggantinya dengan insektisida lain. Namun, penggantian ini tidak boleh dilakukan secara acak. Strategi yang lebih sistematis dan terencana adalah **rotasi insektisida**, yang didefinisikan sebagai penggunaan sekuensial dari berbagai insektisida dengan mekanisme kerja (*Mode of Action* - MoA) yang berbeda dalam satu program pengendalian vektor. Tujuan utama dari rotasi bukanlah untuk menghilangkan gen resistensi yang sudah ada, melainkan untuk mengelola evolusi resistensi dengan cara memperlambat seleksi dan menjaga agar frekuensi gen resistensi tetap pada level yang rendah dan terkendali. Dengan demikian, umur efektivitas dari setiap insektisida yang tersedia dapat diperpanjang.

Prinsip dasar di balik strategi rotasi sangat logis. Ketika insektisida A (misalnya, dari golongan piretroid) digunakan secara terus-menerus, ia akan menyeleksi individu-individu yang memiliki gen resistensi terhadap piretroid. Jika penggunaan insektisida A kemudian dihentikan dan diganti dengan insektisida B dari golongan yang sama (misalnya, piretroid lain), seleksi akan terus berlanjut karena adanya fenomena *cross-resistance* (resistensi silang), di mana mekanisme resistensi yang sama memberikan perlindungan terhadap beberapa insektisida dalam satu golongan. Oleh karena itu, kunci keberhasilan rotasi adalah menggunakan insektisida dari **golongan kimia yang berbeda dengan mekanisme kerja yang berbeda**. Sebagai contoh, setelah menggunakan piretroid (MoA: modulator kanal natrium), program dapat beralih ke organofosfat (MoA: inhibitor asetilkolinesterase). Individu yang resisten terhadap piretroid kemungkinan besar masih rentan terhadap organofosfat, dan sebaliknya. Pergiliran ini memberikan "waktu istirahat" dari tekanan seleksi

untuk setiap MoA, memungkinkan frekuensi gen resistensi terhadap insektisida pertama menurun kembali (meskipun tidak akan hilang sepenuhnya).

CONTOH

Program pengendalian malaria di Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah, menghadapi tantangan re-emerging disease (Fitriani, 2023). Misalkan data bioassay menunjukkan populasi nyamuk *Anopheles* di sana telah resisten terhadap insektisida piretroid yang digunakan untuk IRS. Rencana rotasi yang logis adalah:

1. **Siklus 1 (Tahun 1-2):** Menghentikan penggunaan piretroid dan beralih ke insektisida golongan karbamat (misalnya, Bendiocarb) untuk program IRS.
2. **Siklus 2 (Tahun 3-4):** Beralih ke insektisida golongan organofosfat (misalnya, Pirimiphos-methyl) untuk IRS.
3. **Siklus 3 (Tahun 5):** Kembali menggunakan piretroid, dengan asumsi monitoring menunjukkan bahwa kerentanan populasi nyamuk terhadap piretroid telah pulih ke tingkat yang dapat diterima (misalnya, mortalitas >98%).

Jadwal dan pilihan insektisida ini harus selalu didasarkan pada hasil monitoring resistensi yang berkelanjutan.

Penyusunan rencana rotasi yang efektif memerlukan pertimbangan beberapa faktor:

1. **Profil Resistensi Lokal:** Data bioassay adalah prasyarat mutlak. Tidak ada gunanya merotasi ke insektisida yang juga sudah resisten.
2. **Mekanisme Kerja (MoA):** Pastikan insektisida yang akan dirotasikan berasal dari kelompok MoA yang berbeda. Klasifikasi dari *Insecticide Resistance Action Committee* (IRAC) adalah panduan standar untuk ini.
3. **Ketersediaan dan Biaya:** Tidak semua insektisida yang direkomendasikan untuk kesehatan masyarakat tersedia atau terjangkau di semua negara, termasuk Indonesia. Pertimbangan logistik dan anggaran sangat penting.
4. **Formulasi dan Teknik Aplikasi:** Insektisida yang dipilih harus cocok untuk metode aplikasi yang direncanakan (misalnya, IRS, *fogging*, atau untuk kelambu).
5. **Keamanan dan Dampak Lingkungan:** Profil toksikologi terhadap manusia dan organisme non-target harus menjadi pertimbangan utama.

Rotasi insektisida bukanlah solusi tunggal, tetapi merupakan komponen penting dari kerangka kerja yang lebih luas yang dikenal sebagai Manajemen Resistensi Insektisida (IRM), yang akan dibahas pada sub-bab berikutnya. Tanpa pendekatan yang terintegrasi, bahkan strategi rotasi yang dirancang dengan baik pun pada akhirnya akan gagal.

G. Strategi Resistance Management

Manajemen Resistensi Insektisida (*Insecticide Resistance Management* - IRM) adalah suatu kerangka kerja pengambilan keputusan yang bertujuan untuk mencegah, menunda, atau mengatasi masalah resistensi insektisida pada populasi target untuk mempertahankan efektivitas pengendalian. IRM bukanlah sekadar tentang mengganti satu insektisida dengan yang lain, melainkan sebuah pendekatan holistik dan proaktif yang mengintegrasikan berbagai taktik dalam sebuah program pengendalian vektor. Strategi ini merupakan pilar fundamental dalam konsep Pengendalian Vektor Terpadu (*Integrated Vector Management* - IVM), yang akan diuraikan lebih lanjut pada Bab 14. Tujuan utamanya adalah mengurangi tekanan seleksi secara keseluruhan, sehingga memperpanjang masa pakai insektisida yang berharga. Implementasi strategi IRM yang efektif di Indonesia sangat krusial, mengingat tingginya beban penyakit tular vektor dan laporan resistensi yang meluas (Adnyana, 2022).

Strategi IRM yang komprehensif dibangun di atas lima komponen utama yang saling terkait:

1. **Monitoring dan Surveilans:** Ini adalah fondasi dari setiap program IRM. Tanpa data, tidak mungkin membuat keputusan yang tepat. Program harus secara rutin melakukan bioassay untuk memantau status kerentanan vektor terhadap insektisida yang sedang dan akan digunakan. Uji biokimia atau molekuler juga dapat dilakukan untuk mengidentifikasi mekanisme resistensi yang mendasarinya, memberikan pemahaman yang lebih dalam untuk merancang strategi penanggulangan. Di Indonesia, peran BBTCLPP dan laboratorium universitas menjadi sentral dalam menyediakan data ini untuk dinas kesehatan di tingkat provinsi dan kabupaten/kota.
2. **Penggunaan Insektisida secara Bijaksana (*Judicious Use*):** Prinsip ini menekankan bahwa insektisida adalah sumber daya terbatas yang harus digunakan hanya jika diperlukan, dengan dosis, waktu, dan cakupan yang tepat. Hindari aplikasi "sapu jagat" atau kalender rutin tanpa didasari data surveilans vektor atau epidemiologi. Penggunaan insektisida harus ditargetkan pada waktu dan lokasi di mana risiko penularan paling tinggi. Praktik yang salah, seperti pengenceran dosis di bawah rekomendasi untuk menghemat biaya, justru dapat mempercepat seleksi resistensi dengan membunuh individu rentan tetapi membiarkan individu dengan resistensi level rendah bertahan hidup.
3. **Diversifikasi Metode Pengendalian (*Integrasi Taktik*):** Komponen ini adalah inti dari pendekatan IVM. Ketergantungan berlebihan pada satu metode pengendalian, terutama pengendalian kimia, adalah resep pasti untuk resistensi. Strategi IRM yang kuat harus mengintegrasikan berbagai

metode pengendalian, baik kimia maupun non-kimia, sebagaimana telah dibahas pada Bab 10 dan 11. Ini termasuk:

1. **Pengendalian Lingkungan:** Mengelola dan memodifikasi lingkungan untuk mengurangi tempat perindukan vektor (misalnya, program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) dengan 3M Plus).
2. **Pengendalian Biologis:** Menggunakan predator atau patogen alami vektor (misalnya, ikan pemakan jentik, bakteri *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti)).
3. **Perlindungan Individu:** Menggunakan kelambu, repelen, dan kasa nyamuk.

Dengan mengurangi populasi vektor secara keseluruhan melalui berbagai metode ini, kebutuhan untuk aplikasi insektisida juga akan berkurang, sehingga tekanan seleksi pun menurun.

1. **Variasi Penggunaan Insektisida:** Ini merujuk pada strategi penggunaan insektisida kimia untuk meminimalkan tekanan seleksi dari satu mekanisme kerja. Ada tiga pendekatan utama:
2. **Rotasi:** Penggunaan insektisida dengan MoA berbeda secara berurutan dari waktu ke waktu, seperti yang telah dibahas pada sub-bab sebelumnya.
3. **Mosaik:** Penggunaan insektisida dengan MoA berbeda di lokasi geografis yang berbeda pada waktu yang sama. Misalnya, Kecamatan A menggunakan piretroid, sementara Kecamatan B menggunakan organofosfat.
4. **Campuran (Mixtures):** Menggunakan produk yang mengandung dua atau lebih insektisida dengan MoA berbeda dalam satu formulasi (misalnya, kelambu berinsektisida generasi baru yang mengandung piretroid dan *Piperonyl Butoxide* (PBO) atau klorfenapir). Tujuannya adalah agar serangga yang resisten terhadap satu komponen akan dibunuh oleh komponen lainnya.
5. **Kolaborasi dan Komunikasi:** Manajemen resistensi tidak dapat berhasil jika hanya dilakukan oleh sektor kesehatan. Diperlukan kolaborasi dengan sektor lain seperti pertanian (untuk mengelola penggunaan insektisida pertanian yang bisa menyebabkan resistensi silang pada vektor), akademisi (untuk penelitian dan monitoring), dan industri. Selain itu, komunikasi risiko dan pemberdayaan masyarakat sangat penting untuk meningkatkan kesadaran dan partisipasi dalam kegiatan pengendalian non-kimia, yang pada akhirnya dapat mengurangi kesenjangan pengetahuan dan praktik dalam manajemen vektor (Prayitno, 2025). Mengimplementasikan strategi IRM yang komprehensif seperti ini di daerah endemis seperti Purworejo merupakan kunci untuk mencapai dan mempertahankan eliminasi malaria (Fitriani, 2023).

H. Rangkuman

Resistensi insektisida merupakan fenomena evolusioner pada level populasi, di mana tekanan seleksi dari aplikasi insektisida yang berulang menyeleksi individu vektor yang secara genetik mampu bertahan hidup. Kemampuan yang dapat diwariskan ini menyebabkan penurunan drastis efikasi insektisida, menjadi tantangan utama dalam program pengendalian penyakit tular vektor seperti DBD di Indonesia, di mana populasi *Aedes aegypti* telah menunjukkan resistensi tinggi terhadap piretroid. Kegagalan pengendalian ini bukanlah akibat kesalahan teknis, melainkan perubahan biologis pada vektor target. Terdapat empat mekanisme utama yang mendasari resistensi. Resistensi metabolik, yang paling umum, melibatkan peningkatan kemampuan detoksifikasi insektisida oleh enzim seperti Sitokrom P450, GST, dan Esterase. Resistensi target-situs terjadi akibat mutasi pada protein target insektisida, seperti mutasi *knockdown resistance* (kdr) pada kanal natrium yang membuat piretroid tidak efektif. Mekanisme ketiga, resistensi kutikula, melibatkan penebalan kerangka luar serangga yang memperlambat penyerapan insektisida, seringkali bekerja sinergis dengan mekanisme metabolik. Terakhir, resistensi perilaku adalah perubahan perilaku yang diwariskan, seperti nyamuk yang menjadi lebih eksofilik (beristirahat di luar rumah) untuk menghindari kontak dengan insektisida. Untuk mendeteksi dan mengelola fenomena ini, surveilans entomologi melalui uji biologis (*bioassay*) seperti *WHO tube test* menjadi krusial. Hasil *bioassay* memberikan data fenotipik yang menjadi dasar pengambilan keputusan berbasis bukti untuk memilih insektisida yang masih efektif, memastikan program pengendalian vektor tetap relevan dan efisien.

I. Latihan Mahasiswa

a. Essay

1. Analisislah mengapa konsep "tekanan seleksi" lebih akurat dalam menjelaskan munculnya populasi vektor resisten dibandingkan dengan gagasan bahwa insektisida "menciptakan" atau "menyebabkan" individu menjadi kebal. Kaitkan analisis Anda dengan prinsip dasar evolusi dan implikasinya bagi strategi pengendalian vektor jangka panjang.
2. Bandingkan dan kontraskan mekanisme resistensi target-situs (misalnya, mutasi kdr) dengan resistensi metabolik (misalnya, peningkatan P450). Telaah mekanisme mana yang kemungkinan lebih sulit untuk diatasi dengan hanya mengganti kelas insektisida dan mengapa, serta bagaimana keduanya dapat bekerja sama untuk menghasilkan tingkat resistensi yang sangat tinggi.
3. Evaluasi efektivitas program *fogging* rutin menggunakan insektisida piretroid di sebuah kota endemis DBD, dengan asumsi tidak pernah dilakukan uji resistensi sebelumnya. Argumentasikan mengapa

melanjutkan program ini tanpa data bioassay merupakan pemborosan sumber daya dan berpotensi memberikan rasa aman yang palsu kepada masyarakat.

4. Rumuskan sebuah hipotesis yang menjelaskan mengapa populasi nyamuk *Anopheles* di suatu daerah yang telah lama menggunakan kelambu berinsektisida piretroid mulai menunjukkan peningkatan kasus malaria, meskipun cakupan penggunaan kelambu tetap tinggi. Hipotesis Anda harus menggabungkan setidaknya dua dari empat mekanisme resistensi yang telah dibahas.
5. Telaah secara kritis pernyataan: "Kegagalan pengendalian vektor dengan insektisida adalah murni masalah teknis aplikasi di lapangan." Berikan argumen yang membantah pernyataan ini dengan menggunakan contoh konkret kombinasi mekanisme resistensi (misalnya, target-situs dan metabolik) pada *Aedes aegypti* di Indonesia.

b. Pilihan Berganda

1. Manakah pernyataan yang paling akurat mendefinisikan resistensi insektisida?
 - a. Kemampuan individu nyamuk untuk beradaptasi dan menjadi kebal setelah terpapar insektisida.
 - b. Penurunan kualitas insektisida akibat penyimpanan yang tidak benar di dinas kesehatan.
 - c. Perkembangan kemampuan yang dapat diwariskan pada populasi vektor untuk bertahan dari dosis insektisida yang mematikan.
 - d. Kesalahan prosedur teknis saat melakukan penyemprotan atau *fogging* di lapangan.
2. Tekanan seleksi dalam konteks resistensi insektisida berarti bahwa aplikasi insektisida secara intensif akan...
 - a. Menyebabkan mutasi baru yang menguntungkan pada semua nyamuk.
 - b. Membuat nyamuk yang lemah menjadi lebih kuat seiring waktu.
 - c. Membunuh individu yang rentan dan menyisakan individu yang sudah memiliki gen resistensi untuk berkembang biak.
 - d. Mengubah komposisi kimia insektisida di lingkungan.
3. Peningkatan aktivitas enzim Sitokrom P450, Glutathione S-transferase, dan Esterase pada nyamuk adalah contoh dari mekanisme resistensi...
 - a. Target-situs
 - b. Metabolik
 - c. Kutikula
 - d. Perilaku

4. Mutasi *knockdown resistance* (kdr) yang menyebabkan resistensi terhadap piretroid dan DDT terjadi pada...
 - a. Enzim asetilkolinesterase
 - b. Dinding kutikula serangga
 - c. Kanal natrium bergerbang voltase di sistem saraf
 - d. Enzim Glutation S-transferase
5. Bagaimana mekanisme resistensi kutikula dapat meningkatkan efektivitas mekanisme resistensi metabolik?
 - a. Dengan mengubah protein target sehingga insektisida tidak bisa berikatan.
 - b. Dengan membuat nyamuk menghindari area yang disemprot insektisida.
 - c. Dengan memperlambat laju penyerapan insektisida, memberikan lebih banyak waktu bagi enzim untuk detoksifikasi.
 - d. Dengan langsung menguraikan molekul insektisida di permukaan tubuh.
6. Seekor populasi nyamuk yang sebelumnya suka beristirahat di dalam dinding rumah (endofilik) kini lebih banyak ditemukan beristirahat di luar rumah (eksofilik) setelah program penyemprotan dinding rumah (IRS) berjalan lama. Fenomena ini adalah contoh dari...
 - a. Resistensi metabolik
 - b. Resistensi target-situs
 - c. Resistensi perilaku
 - d. Resistensi kutikula
7. Tujuan utama dari pelaksanaan *WHO tube test* adalah untuk...
 - a. Mengidentifikasi jenis mutasi genetik spesifik yang menyebabkan resistensi.
 - b. Mengukur tingkat kematian populasi vektor secara fenotipik setelah paparan dosis insektisida standar.
 - c. Menentukan konsentrasi insektisida yang paling efektif untuk program *fogging*.
 - d. Menghitung kepadatan populasi nyamuk di suatu wilayah.
8. Dalam prosedur *WHO tube test*, penggunaan tabung kontrol yang berisi kertas yang diresapi pelarut tanpa insektisida berfungsi untuk...
 - a. Memastikan semua nyamuk mati dalam 24 jam.
 - b. Mempercepat proses pemaparan insektisida pada nyamuk uji.
 - c. Sebagai pembanding untuk mengukur mortalitas yang disebabkan oleh faktor lain selain insektisida (misal: stres penanganan).
 - d. Menjadi tempat nyamuk memulihkan diri setelah terpapar insektisida.

9. Ditemukannya populasi *Aedes aegypti* yang memiliki mutasi kdr V1016G dan sekaligus peningkatan aktivitas enzim P450 menunjukkan adanya...
 - a. Kombinasi resistensi target-situs dan metabolik.
 - b. Kombinasi resistensi kutikula dan perilaku.
 - c. Resistensi yang hanya disebabkan oleh satu mekanisme tunggal.
 - d. Kegagalan metode bioassay dalam mendeteksi resistensi.
10. Jika hasil *bioassay* menunjukkan tingkat mortalitas nyamuk *Aedes aegypti* terhadap insektisida piretroid hanya 20%, implikasi paling logis untuk program pengendalian vektor adalah...
 - a. Meningkatkan dosis insektisida piretroid hingga empat kali lipat saat *fogging*.
 - b. Menghentikan semua kegiatan pengendalian vektor karena sudah tidak ada harapan.
 - c. Melanjutkan *fogging* dengan piretroid tetapi dengan frekuensi yang lebih sering.
 - d. Mengganti insektisida dengan golongan lain yang terbukti masih efektif atau menerapkan metode non-kimia.

c. Soal Project / Studi Kasus

1. Anda adalah Kepala Bidang Pengendalian Penyakit di Dinas Kesehatan Kota X. Selama setahun terakhir, laporan kasus DBD terus meningkat meskipun jadwal *fogging* dengan insektisida sipermetrin (piretroid) telah dijalankan secara disiplin. Masyarakat mulai mengeluh bahwa *fogging* "tidak mempan" karena nyamuk tetap banyak. Hasil *WHO tube test* yang baru saja keluar menunjukkan tingkat mortalitas *Aedes aegypti* terhadap sipermetrin hanya 15%. Berdasarkan data ini, rumuskan sebuah memo internal untuk Kepala Dinas Kesehatan yang berisi (1) analisis situasi yang menjelaskan secara ilmiah mengapa *fogging* tidak efektif, mengacu pada konsep resistensi, dan (2) tiga rekomendasi strategis konkret untuk langkah selanjutnya dalam program pengendalian vektor DBD di Kota X.
2. Sebuah lembaga penelitian internasional menugaskan Anda untuk merancang sebuah studi guna menyelidiki penyebab kegagalan pengendalian malaria di sebuah distrik di Papua, di mana kelambu berinsektisida (menggunakan deltametrin, sebuah piretroid) telah didistribusikan selama satu dekade. Data awal menunjukkan nyamuk *Anopheles* masih banyak menggigit di dalam dan luar rumah pada malam hari. Susunlah sebuah kerangka proposal penelitian (1-2 paragraf) yang menguraikan hipotesis utama Anda dan metode yang akan digunakan. Proposal Anda harus mencakup cara Anda akan menguji setidaknya tiga

mekanisme resistensi yang berbeda (misalnya, metabolik, target-situs, dan perilaku) pada populasi *Anopheles* lokal.

BAB 14

INTEGRATED VECTOR MANAGEMENT DAN PROGRAM PENGENDALIAN

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah menyelesaikan pembahasan pada bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menerapkan prinsip-prinsip Integrated Vector Management (IVM) untuk merancang draf proposal program pengendalian vektor pada suatu wilayah endemis di Indonesia.
2. Memilih kombinasi metode pengendalian (kimiawi, biologis, fisik, dan genetik) yang paling efektif dan efisien untuk kasus spesifik penyakit tular vektor, seperti malaria di Papua atau Demam Berdarah Dengue (DBD) di DKI Jakarta.
3. Mendemonstrasikan teknik komunikasi risiko dan pemberdayaan masyarakat, seperti pada program Gerakan 1 Rumah 1 Jumantik (G1R1J), dalam sebuah skenario simulasi pengendalian DBD tingkat Rukun Warga (RW).
4. Mengimplementasikan model kolaborasi lintas sektor dengan mengidentifikasi peran dan tanggung jawab setiap pemangku kepentingan (misalnya, Dinas Kesehatan, Dinas Pendidikan, sektor swasta) dalam program pengendalian filariasis di tingkat kabupaten.
5. Menghitung indikator-indikator kunci, seperti Angka Bebas Jentik (ABJ) dan *Larva Free Index*, untuk mengevaluasi keberhasilan intervensi program pengendalian vektor DBD di sebuah wilayah studi kasus.

B. Pengantar

Upaya pengendalian penyakit tular vektor di Indonesia selama beberapa dekade sering kali terjebak dalam pendekatan tunggal yang reaktif dan tidak berkelanjutan. Konsep pengendalian yang dominan di benak masyarakat dan bahkan sebagian praktisi adalah penyemprotan insektisida atau *fogging*. Sebagai contoh, setiap kali kasus Demam Berdarah Dengue (DBD) merebak di sebuah kawasan perkotaan, respons yang paling umum dan dituntut oleh publik adalah *fogging* massal. Meskipun secara visual terlihat meyakinkan, strategi ini memiliki kelemahan fundamental. Implikasinya, pendekatan ini hanya menysar nyamuk dewasa, sementara jentik-jentik di dalam wadah penampungan air terus berkembang menjadi nyamuk baru dalam hitungan hari. Siklus penularan pun tidak terputus secara efektif. Lebih jauh lagi, ketergantungan berlebih pada satu jenis insektisida telah terbukti memicu resistensi vektor di berbagai daerah di

Indonesia, menjadikan intervensi kimiawi di masa depan semakin kurang efektif dan mahal. Kegagalan pendekatan tunggal ini menjadi justifikasi kuat bagi para profesional kesehatan masyarakat untuk beralih ke paradigma yang lebih komprehensif dan strategis.

Sebagai jawaban atas keterbatasan tersebut, bab ini akan memperkenalkan dan mendalami konsep *Integrated Vector Management* (IVM) atau Pengendalian Vektor Terpadu. IVM bukan sekadar kumpulan berbagai metode pengendalian, melainkan sebuah kerangka kerja pengambilan keputusan yang rasional untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya secara efektif dan berkelanjutan. Konsep ini menuntut integrasi berbagai metode pengendalian yang dipilih berdasarkan bukti ilmiah dan kondisi ekologis lokal. Sebagai ilustrasi, program pengendalian DBD di Kota Yogyakarta tidak lagi hanya bergantung pada *fogging*. Sebaliknya, program tersebut mengintegrasikan **(1) pengendalian biologis** melalui penyebaran nyamuk *Aedes aegypti* ber-*Wolbachia* yang mampu menghambat replikasi virus dengue; **(2) pemberdayaan masyarakat** melalui revitalisasi Gerakan 1 Rumah 1 Jumantik (G1R1J) yang dimonitor secara ketat; dan **(3) kolaborasi lintas sektor** dengan melibatkan sekolah dan industri perhotelan. Implikasi dari penerapan IVM ini sangat signifikan: terjadi penurunan drastis kasus DBD yang berkelanjutan, terbangunnya kemandirian masyarakat dalam menjaga lingkungannya, serta berkurangnya dampak negatif ekologis dan kesehatan akibat penggunaan insektisida. Studi kasus ini menegaskan bahwa peran seorang ahli kesehatan masyarakat telah bergeser dari sekadar pelaksana teknis menjadi seorang manajer program yang mampu merancang, mengorkestrasi, dan mengevaluasi intervensi yang kompleks.

Untuk membekali Anda dengan kompetensi tersebut, bab ini dirancang secara sistematis untuk memandu Anda dalam menerapkan IVM di lapangan. Pembahasan akan diawali dengan pendalaman **konsep fundamental *Integrated Vector Management*** sebagai landasan berpikir. Selanjutnya, kita akan mengaplikasikan konsep tersebut pada **pengendalian spesifik untuk penyakit-penyakit prioritas** di Indonesia, seperti DBD, malaria, dan filariasis, dengan menelaah studi kasus keberhasilan dan kegagalan. Mengingat partisipasi publik adalah kunci, bab ini akan mengupas tuntas strategi **komunikasi risiko dan pemberdayaan masyarakat** yang efektif. Keberhasilan program juga tidak lepas dari dukungan berbagai pihak, sehingga kita akan menganalisis mekanisme **kolaborasi lintas sektor** yang solid. Sebagai penutup, seluruh rangkaian proses manajerial ini akan diikat dengan pembahasan praktis mengenai **perencanaan, monitoring, dan evaluasi program** untuk memastikan setiap rupiah dan jam kerja yang diinvestasikan memberikan dampak maksimal yang terukur dan dapat dipertanggungjawabkan.

C. Konsep *Integrated Vector Management* (IVM)

Setelah mendalami berbagai metode pengendalian vektor secara terpisah pada bab-bab sebelumnya—mulai dari pengendalian lingkungan (Bab 10), non-kimia (Bab 11), hingga kimia (Bab 12)—kini saatnya kita mengintegrasikannya dalam sebuah kerangka kerja strategis. Ketergantungan pada satu metode, seperti *fogging* massal yang bersifat reaktif, telah terbukti tidak efektif dalam jangka panjang dan menimbulkan masalah baru seperti resistensi insektisida (dibahas di Bab 13). Sebagai respons, Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) mempromosikan pendekatan *Integrated Vector Management* (IVM) atau Pengendalian Vektor Terpadu. IVM bukanlah sekadar campuran berbagai teknik, melainkan sebuah proses pengambilan keputusan yang rasional untuk optimalisasi sumber daya dalam mengelola populasi vektor, sehingga dapat mengurangi atau menghentikan penularan penyakit secara berkelanjutan.

DEFINISI

***Integrated Vector Management* (IVM)** adalah sebuah pendekatan strategis untuk pengendalian vektor yang mempromosikan penggunaan kombinasi intervensi yang rasional dan berbasis bukti (*evidence-based*). Tujuannya adalah untuk meningkatkan efikasi, efisiensi biaya, keberlanjutan ekologis, dan keberterimaan sosial dari program pengendalian penyakit tular vektor.

Implementasi IVM didasarkan pada lima elemen kunci. Pertama, **pengambilan keputusan berbasis bukti**, yang menuntut program didasarkan pada data surveilans entomologi dan epidemiologi lokal, bukan kebiasaan atau tekanan politik. Kedua, **integrasi metode pengendalian**, yaitu mengombinasikan berbagai metode (lingkungan, biologis, kimia, dan perlindungan diri) secara sinergis. Ketiga, **pengembangan kapasitas**, yang berarti memastikan tersedianya sumber daya manusia yang kompeten, infrastruktur yang memadai, dan sistem yang berfungsi di semua tingkatan. Keempat, **advokasi, mobilisasi sosial, dan legislasi**, yang bertujuan untuk membangun dukungan politik, mendorong partisipasi masyarakat, dan menciptakan kerangka hukum yang mendukung. Kelima, **kolaborasi di dalam sektor kesehatan dan dengan sektor lain**, yang mengakui bahwa akar masalah vektor sering kali berada di luar domain kesehatan.

Penerapan IVM di Indonesia dapat diilustrasikan melalui upaya eliminasi malaria di Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah. Sebagai salah satu kantong endemis malaria yang tersisa di Pulau Jawa, pendekatan tunggal tidak lagi memadai. Program IVM di sana menerapkan kombinasi intervensi yang disesuaikan dengan data lokal (Fitriani, 2023). Di area dengan penularan tinggi, dilakukan **(a) pengendalian kimiawi** selektif melalui penyemprotan dinding rumah (*Indoor Residual Spraying/IRS*) dan distribusi kelambu berinsektisida

(*Long-Lasting Insecticidal Nets/LLINs*); **(b) pengendalian lingkungan** dengan modifikasi habitat perkembangbiakan *Anopheles* di area pesisir; dan **(c) pemberdayaan masyarakat** melalui kader malaria desa yang aktif melakukan penemuan kasus dan pemantauan. Keputusan untuk memilih kombinasi ini didasarkan pada hasil surveilans vektor yang mengidentifikasi perilaku dan habitat spesifik nyamuk lokal. Dengan demikian, IVM mengubah paradigma dari "membasmi nyamuk" menjadi "mengelola risiko penularan" secara cerdas dan adaptif, sebuah kompetensi inti bagi seorang profesional kesehatan masyarakat modern. Pendekatan komprehensif semacam ini juga terbukti relevan untuk mengendalikan vektor di tengah tantangan lain, seperti yang terlihat selama pandemi COVID-19 di mana sumber daya terbagi (Alvira, 2021).

D. Pengendalian Spesifik Penyakit (DBD, malaria, filariasis, dll.)

Prinsip-prinsip IVM yang telah dibahas bersifat universal, namun aplikasinya harus "dijahit" secara spesifik sesuai dengan biologi vektor, epidemiologi penyakit, dan konteks ekologi lokal. Sebuah strategi yang efektif untuk mengendalikan *Aedes aegypti* di perkotaan akan sangat berbeda dengan strategi untuk *Anopheles sundaicus* di pesisir. Oleh karena itu, seorang manajer program kesehatan masyarakat harus mampu memilih dan memprioritaskan intervensi yang paling tepat untuk setiap penyakit tular vektor utama.

Untuk **Demam Berdarah Dengue (DBD)**, yang vektor utamanya (*Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus*) berkembang biak di wadah buatan manusia di sekitar pemukiman, tulang punggung pengendalian adalah **pengendalian lingkungan berbasis masyarakat**. Program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) dengan gerakan 3M Plus (*Menguras, Menutup, Mendaur ulang*, plus upaya pencegahan lainnya) adalah intervensi primer. Metode ini menargetkan fase pra-dewasa (jentik) yang tidak bergerak dan lebih mudah dikendalikan. Pengendalian kimiawi seperti *fogging* hanya berperan sebagai intervensi sekunder yang bersifat reaktif, dilakukan untuk membunuh nyamuk dewasa infeksius saat terjadi transmisi lokal dan berdasarkan kriteria epidemiologis yang ketat. Studi kasus di Bali menunjukkan bahwa strategi untuk memberantas vektor DBD harus bersifat komprehensif dan terakselerasi, tidak bisa hanya mengandalkan satu metode (Adnyana, 2022). Inovasi seperti penggunaan nyamuk ber-*Wolbachia* di Yogyakarta menjadi contoh pengendalian biologis modern yang menjanjikan, yang bekerja dengan menghambat replikasi virus dengue di dalam tubuh nyamuk. Namun, keberhasilan semua ini sangat bergantung pada pengetahuan, sikap, dan praktik masyarakat yang masih menunjukkan kesenjangan signifikan di banyak wilayah Indonesia (Prayitno, 2025).

Pada **Malaria**, situasinya berbeda. Vektornya, nyamuk *Anopheles*, umumnya berkembang biak di habitat alami yang luas (sawah, rawa, laguna pesisir)

sehingga pengendalian sumber perkembangbiakan (*source reduction*) seringkali tidak praktis. Fokus utama pengendalian malaria di daerah endemis tinggi seperti Papua dan sebagian Nusa Tenggara adalah memutus kontak antara nyamuk infektif dengan manusia. Dua intervensi paling efektif adalah **distribusi massal kelambu berinsektisida (LLINs)** dan **penyemprotan dinding rumah (IRS)**. Metode ini menargetkan perilaku nyamuk *Anopheles* yang cenderung menggigit dan beristirahat di dalam rumah pada malam hari. Faktor risiko terjadinya malaria sangat bervariasi antar wilayah di Indonesia, menuntut penyesuaian strategi berdasarkan jenis vektor *Anopheles* dominan dan faktor lingkungan setempat (Utami, 2022).

Sementara itu, untuk **Filariasis Limfatik (Penyakit Kaki Gajah)**, yang dapat ditularkan oleh berbagai genus nyamuk (*Anopheles*, *Culex*, *Mansonia*, *Aedes*), strategi global dan nasional lebih menekankan pada pemutusan rantai penularan melalui pengobatan. Program utama adalah **Pemberian Obat Pencegahan Massal (POPM)** filariasis setahun sekali selama minimal lima tahun. Tujuannya adalah membunuh mikrofilaria dalam darah manusia, sehingga nyamuk yang menggigit orang yang telah diobati tidak lagi dapat menularkan penyakit. Meskipun POPM adalah andalan, pengendalian vektor tetap menjadi strategi komplementer yang penting, terutama di daerah dengan prevalensi tinggi atau di mana cakupan POPM rendah. Analisis data registri selama 18 tahun menunjukkan distribusi filariasis kronis yang luas di Indonesia, menggarisbawahi pentingnya pendekatan terintegrasi untuk mencapai eliminasi (Aisyah, 2022).

Untuk memudahkan pemahaman, perbedaan pendekatan utama untuk ketiga penyakit ini dirangkum dalam tabel berikut.

Tabel 14.1 Perbandingan Strategi Pengendalian Vektor Prioritas untuk DBD, Malaria, dan Filariasis di Indonesia

Fitur Program	Demam Berdarah Dengue (DBD)	Malaria	Filariasis Limfatik
Vektor Utama	<i>Aedes aegypti</i> , <i>Aedes albopictus</i>	<i>Anopheles sp.</i>	<i>Anopheles sp.</i> , <i>Culex sp.</i> , <i>Mansonia sp.</i>
Target Utama Intervensi	Jentik (fase pra-dewasa)	Nyamuk dewasa	Parasit dalam tubuh manusia
Strategi Primer	PSN 3M Plus (Pengendalian Lingkungan)	LLINs dan IRS (Perlindungan Diri & Kimiawi)	POPM (Pengobatan Massal)

Strategi Sekunder	Larvasidasi selektif, <i>fogging</i> fokus	Pengendalian larva (jika memungkinkan)	Pengendalian vektor sesuai epidemiologi lokal
Setting Dominan	Perkotaan dan peri-urban	Pedesaan, pesisir, area hutan	Bervariasi (pedesaan dan perkotaan)
Peran Masyarakat	Sangat sentral (pelaksana PSN)	Kunci (penggunaan kelambu secara benar)	Kunci (kepatuhan minum obat)

Tabel di atas secara jelas menunjukkan bahwa tidak ada satu solusi untuk semua (*one-size-fits-all*) dalam pengendalian penyakit tular vektor. Pemilihan kombinasi metode harus didasarkan pada pemahaman mendalam tentang siklus hidup masing-masing penyakit.

E. Komunikasi Risiko dan Pemberdayaan Masyarakat

Keberhasilan program IVM tidak dapat diukur hanya dari jumlah insektisida yang disemprotkan atau jumlah larva yang mati; ia sangat bergantung pada perubahan perilaku manusia. Tanpa partisipasi aktif dari masyarakat, program pengendalian vektor yang paling canggih sekalipun akan gagal. Oleh karena itu, komunikasi risiko dan pemberdayaan masyarakat bukan lagi sekadar kegiatan pelengkap, melainkan komponen inti yang harus dirancang dan diimplementasikan secara sistematis. Pemberdayaan masyarakat adalah kunci untuk menciptakan lingkungan sehat yang bebas dari vektor penyakit (Fazri, 2023).

Komunikasi risiko berbeda dari penyuluhan kesehatan biasa. Jika penyuluhan berfokus pada penyampaian informasi umum, komunikasi risiko adalah dialog dua arah yang bertujuan untuk membantu masyarakat memahami, menerima, dan bertindak berdasarkan penilaian suatu risiko spesifik, terutama dalam situasi ketidakpastian atau krisis seperti wabah. Sebagai contoh, saat terjadi peningkatan kasus DBD, masyarakat mungkin panik dan menuntut *fogging* segera. Seorang komunikator risiko yang efektif tidak hanya menyetujui atau menolak, tetapi menjelaskan secara transparan bahwa *fogging* hanya membunuh nyamuk dewasa yang terbang saat itu dan tidak membasmi jentik. Komunikator kemudian mengarahkan energi dan kekhawatiran masyarakat ke tindakan yang lebih efektif dan berkelanjutan, yaitu PSN serentak di seluruh lingkungan. Memahami perilaku pencegahan DBD yang ada di masyarakat, seperti yang diteliti di wilayah pesisir, menjadi dasar untuk merancang pesan yang relevan dan dapat diterima (Sulidah, 2021).

Pemberdayaan masyarakat melangkah lebih jauh dari sekadar komunikasi. Ia bertujuan untuk mentransfer pengetahuan, keterampilan, dan wewenang kepada masyarakat agar mereka mampu mengidentifikasi masalah dan mengambil tindakan secara mandiri. Di Indonesia, contoh penerapan terbaik dari konsep ini adalah **Gerakan 1 Rumah 1 Jumantik (G1R1J)**. Program ini mengubah paradigma dari "petugas kesehatan sebagai juru pemantau jentik" menjadi "setiap kepala keluarga sebagai juru pemantau jentik di rumahnya sendiri". Untuk mengimplementasikan program ini, langkah-langkah aplikatifnya meliputi:

1. **Rekrutmen dan Pelatihan:** Melatih kader kesehatan atau tokoh masyarakat (misalnya, ketua dasawisma) sebagai koordinator Jumantik tingkat RT/RW. Peran kader ini krusial, serupa dengan peran kader TB dalam program kesehatan lainnya (Kurniawan, 2022).
2. **Distribusi Alat:** Menyediakan alat sederhana seperti senter dan formulir pemantauan (kartu jentik) kepada setiap rumah tangga.
3. **Mekanisme Pemantauan dan Umpan Balik:** Kader koordinator secara rutin mengumpulkan data dari kartu jentik, menghitung Angka Bebas Jentik (ABJ) tingkat RT, dan melaporkannya ke Puskesmas. Hasil ini kemudian diumumkan kembali kepada warga, menciptakan rasa kepemilikan dan kompetisi sehat antar-RT.

Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan cakupan pemantauan jentik secara masif, tetapi juga menumbuhkan kesadaran dan kemandirian. Namun, tantangannya adalah menjaga keberlanjutan motivasi. Kesenjangan antara pengetahuan dan praktik nyata seringkali besar (Prayitno, 2025), sehingga diperlukan inovasi berkelanjutan, seperti penghargaan bagi RT dengan ABJ tertinggi atau integrasi kegiatan Jumantik dengan acara sosial kemasyarakatan lainnya.

Visualisasi alur pemberdayaan ini dapat membantu para perencana program untuk memahami bagaimana komponen-komponennya saling terkait.

Diagram tersebut mengilustrasikan siklus berkelanjutan di mana informasi dari masyarakat diolah menjadi data yang dapat ditindaklanjuti, dan hasilnya dikembalikan kepada masyarakat sebagai umpan balik untuk mendorong tindakan lebih lanjut, menciptakan sebuah sistem yang mandiri dan responsif.

F. Kolaborasi Lintas Sektor

Penyakit tular vektor adalah masalah kesehatan masyarakat yang kompleks dengan akar penyebab yang melintasi batas-batas sektor. Sarang nyamuk *Aedes* muncul karena manajemen sampah yang buruk (sektor lingkungan hidup), genangan air timbul karena sistem drainase yang tidak memadai (sektor pekerjaan umum), dan perilaku masyarakat dipengaruhi oleh tingkat pendidikan (sektor pendidikan). Oleh karena itu, Dinas Kesehatan tidak dapat bekerja

sendirian. Kolaborasi lintas sektor menjadi elemen krusial dalam kerangka IVM, yang bertujuan untuk menyatukan sumber daya, keahlian, dan wewenang dari berbagai pihak untuk mencapai tujuan bersama yang tidak dapat dicapai oleh satu sektor saja.

Langkah pertama dalam membangun kolaborasi adalah mengidentifikasi dan memetakan pemangku kepentingan (*stakeholders*) yang relevan. Untuk program pengendalian DBD di sebuah kota, misalnya, pemangku kepentingan tidak hanya Dinas Kesehatan, tetapi juga mencakup:

1. **Pemerintah Daerah (Sekretariat Daerah):** Sebagai koordinator, pengalokasi anggaran, dan pembuat kebijakan (misalnya, Peraturan Daerah tentang Kawasan Tanpa Jentik).
2. **Dinas Pendidikan:** Mengintegrasikan pendidikan kesehatan tentang PSN ke dalam kurikulum sekolah melalui Usaha Kesehatan Sekolah (UKS) dan program "Siswa Pemantau Jentik" (Siswa Jumantik).
3. **Dinas Lingkungan Hidup:** Mengoptimalkan sistem pengelolaan sampah dan daur ulang untuk mengurangi potensi tempat perindukan nyamuk dari barang-barang bekas.
4. **Dinas Pekerjaan Umum:** Merancang dan memelihara sistem drainase perkotaan untuk mencegah genangan air yang dapat menjadi tempat berkembang biak nyamuk *Culex* dan *Anopheles*.
5. **Sektor Swasta:** Perusahaan dapat berpartisipasi melalui program *Corporate Social Responsibility* (CSR) dengan mendanai kegiatan PSN di lingkungan sekitar, atau bagi pengelola properti (hotel, mal, kawasan industri) memastikan areanya bebas vektor.
6. **Organisasi Masyarakat Sipil (LSM, Organisasi Keagamaan):** Membantu dalam mobilisasi sosial dan advokasi kepada masyarakat melalui jaringan mereka yang luas.

CONTOH

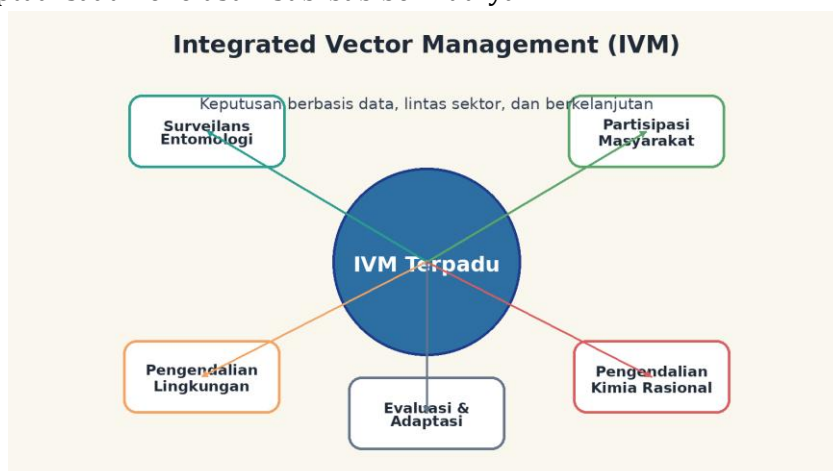
Implementasi kolaborasi lintas sektor dalam program eliminasi malaria di Kabupaten Purworejo (Fitriani, 2023) menunjukkan model yang efektif. Dinas Kesehatan memimpin dari sisi teknis surveilans dan penatalaksanaan kasus. Pemerintah Kabupaten menyediakan dukungan kebijakan dan anggaran. Dinas Pertanian dan Kelautan memberikan masukan terkait pengelolaan tambak dan irigasi untuk mengurangi habitat larva *Anopheles*. Sementara itu, kepala desa dan tokoh masyarakat berperan penting dalam memobilisasi warga untuk menggunakan kelambu dan mengikuti penyemprotan rumah. Tanpa sinergi ini, upaya Dinas Kesehatan akan terisolasi dan kurang berdampak.

Membangun kolaborasi yang efektif memerlukan lebih dari sekadar rapat koordinasi. Diperlukan sebuah mekanisme formal, seperti Kelompok Kerja (Pokja) DBD atau Pokja Malaria tingkat kabupaten/kota, yang memiliki mandat jelas, rencana kerja bersama, dan sistem akuntabilitas. Setiap sektor harus memahami peran dan tanggung jawabnya secara spesifik. Misalnya, dalam Pokja DBD, Dinas Pendidikan bertanggung jawab atas pencapaian ABJ di seluruh sekolah, sementara Dinas Lingkungan Hidup bertanggung jawab atas pengelolaan Tempat Pembuangan Sementara (TPS) agar tidak menjadi sumber perkembangbiakan nyamuk. Dengan demikian, beban pengendalian vektor didistribusikan secara proporsional, dan solusi yang dihasilkan menjadi lebih holistik dan berkelanjutan, sejalan dengan prinsip pembangunan berkelanjutan yang berwawasan lingkungan (Herlina, 2021).

G. Perencanaan, Monitoring, dan Evaluasi Program

Sebuah program pengendalian vektor yang dirancang dengan baik berdasarkan prinsip IVM akan sia-sia tanpa adanya siklus manajemen yang solid untuk memastikan implementasinya berjalan sesuai rencana dan memberikan hasil yang diharapkan. Siklus ini terdiri dari tiga komponen yang saling terkait: perencanaan (*planning*), monitoring (*monitoring*), dan evaluasi (*evaluation*) atau PME. PME mengubah program dari serangkaian aktivitas sporadis menjadi sebuah intervensi yang terkelola, terukur, dan akuntabel. Prinsip-prinsip sistem pengendalian intern, seperti yang diterapkan di sektor lain, sangat relevan untuk memastikan kualitas dan akuntabilitas program kesehatan masyarakat (Herawati, 2022).

Untuk memperjelas keterkaitan antar-konsep yang dibahas, berikut disajikan diagram skematis yang memetakan hubungan antar-elemen utama dalam pembahasan bab ini. Pembaca dapat menggunakan diagram sebagai peta konseptual saat menelusuri sub-bab berikutnya.



Gambar 14.1 Peta Konseptual *Integrated Vector Management* Dan Program Pengendalian

Diagram di atas memetakan elemen-elemen pokok pembahasan beserta hubungan di antara mereka. Pemetaan visual ini berfungsi sebagai jangkar konseptual yang membantu pembaca menempatkan setiap sub-bab dalam kerangka berpikir yang utuh.

Perencanaan adalah fondasi dari siklus PME. Perencanaan program pengendalian vektor harus berbasis data yang diperoleh dari surveilans epidemiologi (Bab 8) dan analisis risiko (Bab 9). Proses ini dimulai dengan penetapan tujuan yang SMART (*Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound*). Contoh tujuan yang buruk adalah "Mengurangi kasus DBD". Contoh tujuan yang baik adalah "Meningkatkan Angka Bebas Jentik (ABJ) dari 85% menjadi >95% di seluruh RT di Kecamatan X dalam waktu 6 bulan" atau "Menurunkan *Annual Parasite Incidence* (API) malaria dari 3 per 1.000 penduduk menjadi kurang dari 1 per 1.000 penduduk di Kabupaten Y dalam waktu 2 tahun". Tujuan yang spesifik ini kemudian dijabarkan menjadi rencana kegiatan, jadwal, alokasi sumber daya (anggaran dan personil), dan indikator keberhasilan yang jelas.

Monitoring adalah proses pengumpulan dan analisis data secara rutin selama program berjalan untuk melacak kemajuan dan mengidentifikasi masalah. Monitoring menjawab pertanyaan, "Apakah kita melakukan hal yang benar dan melakukannya dengan benar?". Ada dua jenis monitoring utama:

1. **Monitoring Proses (Input & Output):** Melacak apakah input (dana, logistik, staf) telah digunakan sesuai rencana dan apakah output (jumlah rumah yang di-*fogging*, jumlah kelambu yang didistribusikan, jumlah kader yang dilatih) telah tercapai.
2. **Monitoring Hasil (Outcome):** Mengukur perubahan jangka pendek yang diharapkan dari kegiatan program. Contohnya adalah memantau indeks entomologi (HI, CI, BI, ABJ) secara berkala. Jika kegiatan PSN dilaporkan berjalan 100% (output tercapai) tetapi ABJ tetap rendah (outcome tidak tercapai), monitoring memberikan sinyal dini bahwa ada masalah dengan kualitas pelaksanaan PSN.

Di Indonesia, penerapan teknologi informasi telah merevolusi proses monitoring. Sebagai contoh, penggunaan *Electronic Malaria Surveillance Information System* (E-SISMAL) di Kabupaten Bangka Barat memungkinkan pemantauan kasus dan intervensi secara *real-time*, mempercepat respons dan meningkatkan efektivitas program eliminasi malaria (Asmiani, 2021). Sistem seperti ini adalah aplikasi nyata dari monitoring modern.

Evaluasi adalah penilaian sistematis terhadap desain, implementasi, dan hasil program. Evaluasi menjawab pertanyaan, "Apakah program ini berhasil dan mengapa?". Evaluasi dilakukan pada periode tertentu (misalnya, tengah periode atau akhir program) dan lebih mendalam daripada monitoring.

Tujuannya adalah untuk mengukur **dampak (*impact*)** program, yaitu perubahan jangka panjang pada status kesehatan masyarakat, seperti penurunan angka kesakitan (insidensi) atau kematian akibat penyakit tular vektor. Evaluasi juga menilai efisiensi (apakah hasil yang dicapai sepadan dengan biaya yang dikeluarkan), relevansi, dan keberlanjutan program. Hasil evaluasi menjadi masukan krusial untuk siklus perencanaan berikutnya, memungkinkan program untuk beradaptasi dan menjadi lebih baik dari waktu ke waktu. Dengan menerapkan siklus PME secara disiplin, praktisi kesehatan masyarakat dapat memastikan bahwa setiap sumber daya yang diinvestasikan memberikan dampak maksimal bagi kesehatan populasi.

H. Rangkuman

Pengendalian vektor modern menuntut pergeseran paradigma dari intervensi tunggal yang reaktif, seperti fogging massal, menuju kerangka kerja strategis yang dikenal sebagai *Integrated Vector Management* (IVM) atau Pengendalian Vektor Terpadu. IVM didefinisikan sebagai proses pengambilan keputusan rasional berbasis bukti untuk mengoptimalkan sumber daya dalam menekan populasi vektor secara berkelanjutan, dengan tujuan akhir mengurangi atau menghentikan transmisi penyakit. Implementasinya bertumpu pada lima elemen kunci: pengambilan keputusan berbasis data surveilans, integrasi sinergis berbagai metode pengendalian (lingkungan, biologis, kimia), pengembangan kapasitas sumber daya, advokasi dan mobilisasi sosial, serta kolaborasi lintas sektor. Pendekatan ini tidak bersifat satu ukuran untuk semua, melainkan harus disesuaikan secara spesifik (“dijahit”) dengan biologi vektor, epidemiologi penyakit, dan konteks lokal. Sebagai contoh, strategi pengendalian Demam Berdarah Dengue (DBD) memprioritaskan pengendalian lingkungan berbasis masyarakat (PSN 3M Plus) yang menargetkan jentik *Aedes* di sekitar pemukiman. Sebaliknya, pengendalian malaria di daerah endemis tinggi lebih fokus pada pemutusan kontak manusia-nyamuk melalui distribusi massal kelambu berinsektisida (LLINs) dan penyemprotan dinding rumah (IRS) untuk menargetkan perilaku nyamuk *Anopheles* dewasa. Sementara itu, program eliminasi filariasis mengandalkan Pemberian Obat Pencegahan Massal (POPM) sebagai strategi primer untuk memutus rantai penularan pada sumbernya, yaitu parasit dalam tubuh manusia, dengan pengendalian vektor sebagai strategi komplementer. Kemampuan untuk menganalisis konteks dan memilih kombinasi intervensi yang tepat inilah yang menjadi kompetensi inti seorang praktisi kesehatan masyarakat.

I. Latihan Mahasiswa

a. Essay

1. Evaluasi pendekatan pengendalian vektor yang hanya mengandalkan *fogging* massal untuk merespons wabah DBD dari sudut pandang lima

elemen kunci *Integrated Vector Management* (IVM). Telaah mengapa pendekatan tersebut dianggap tidak efektif dan tidak berkelanjutan dalam jangka panjang menurut kerangka kerja IVM.

2. Bandingkan dan kontraskan strategi pengendalian primer untuk malaria dan DBD di Indonesia. Analisis bagaimana perbedaan biologi, perilaku, dan habitat perkembangbiakan vektor utama (*Anopheles sp.* vs *Aedes aegypti*) secara langsung menentukan pemilihan intervensi prioritas (LLINs/IRS vs PSN 3M Plus) dalam kerangka IVM.
3. Program eliminasi filariasis di Indonesia menjadikan Pemberian Obat Pencegahan Massal (POPM) sebagai andalan. Argumentasikan mengapa pengendalian vektor tetap menjadi komponen komplementer yang penting dan tidak boleh diabaikan, bahkan di daerah dengan cakupan POPM yang tinggi, dengan mengacu pada tujuan keberlanjutan program.
4. Salah satu elemen kunci IVM adalah "kolaborasi di dalam sektor kesehatan dan dengan sektor lain". Rumuskan sebuah proposal singkat yang menguraikan bentuk kolaborasi lintas sektor yang diperlukan untuk mendukung program pengendalian malaria di wilayah pesisir seperti Purworejo, yang melibatkan setidaknya dua sektor di luar kesehatan.
5. Telaah pernyataan ini: "IVM mengubah paradigma dari 'membasmi nyamuk' menjadi 'mengelola risiko penularan'. Analisis makna dari perubahan paradigma tersebut dengan menggunakan contoh konkret dari program pengendalian DBD dan malaria. Jelaskan implikasinya terhadap cara merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi program.

b. Pilihan Berganda

1. Apakah yang menjadi perbedaan fundamental antara pendekatan *Integrated Vector Management* (IVM) dengan metode pengendalian vektor konvensional seperti *fogging* massal?
 - a. IVM hanya menggunakan metode non-kimia yang ramah lingkungan.
 - b. IVM adalah proses pengambilan keputusan strategis berbasis bukti, bukan sekadar campuran metode.
 - c. IVM secara eksklusif berfokus pada pemberantasan vektor pada fase dewasa.
 - d. IVM merupakan program yang sepenuhnya dijalankan oleh pemerintah pusat tanpa partisipasi masyarakat.
2. Ketergantungan berlebihan pada satu metode pengendalian kimiawi seperti insektisida terbukti menimbulkan masalah baru yang mendorong pengembangan IVM. Masalah utama tersebut adalah...
 - a. tingginya biaya operasional program.

- b. kesulitan mendapatkan tenaga pelaksana yang kompeten.
 - c. munculnya resistensi vektor terhadap insektisida.
 - d. penolakan dari masyarakat terhadap bahan kimia.
3. Seorang manajer program pengendalian vektor di suatu kabupaten memutuskan untuk mengalokasikan sebagian besar anggaran untuk pelatihan kader dan penguatan sistem surveilans entomologi. Keputusan ini paling sesuai dengan elemen kunci IVM yang mana?
- a. Integrasi metode pengendalian.
 - b. Advokasi dan mobilisasi sosial.
 - c. Kolaborasi lintas sektor.
 - d. Pengembangan kapasitas dan pengambilan keputusan berbasis bukti.
4. Berdasarkan prinsip IVM, strategi primer dan paling efektif untuk menekan penularan Demam Berdarah Dengue (DBD) di area perkotaan adalah...
- a. Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) melalui gerakan 3M Plus oleh masyarakat.
 - b. Penyemprotan *fogging* secara rutin di seluruh wilayah setiap bulan.
 - c. Distribusi massal kelambu berinsektisida kepada setiap keluarga.
 - d. Pemberian Obat Pencegahan Massal (POPM) kepada seluruh penduduk.
5. Mengapa strategi pengendalian larva *Anopheles* (pengendalian sumber perkembangbiakan) seringkali dianggap tidak praktis sebagai intervensi utama untuk malaria di banyak daerah endemis?
- a. Larva *Anopheles* sangat resisten terhadap larvasida.
 - b. Nyamuk *Anopheles* tidak memiliki fase larva di air.
 - c. Habitat perkembangbiakannya sangat luas dan alami (rawa, sawah) sehingga sulit dijangkau seluruhnya.
 - d. Masyarakat menolak untuk membersihkan habitat perkembangbiakan karena terkait mata pencaharian.
6. Program eliminasi filariasis secara global dan nasional lebih mengutamakan intervensi yang menargetkan...
- a. nyamuk dewasa dengan metode *fogging* fokus.
 - b. jentik nyamuk di semua genangan air.
 - c. perilaku masyarakat agar tidak keluar rumah pada malam hari.
 - d. parasit (mikrofilaria) di dalam darah manusia melalui pengobatan massal.
7. Intervensi berupa distribusi kelambu berinsektisida (LLINs) dan penyemprotan dinding rumah (IRS) sangat efektif untuk pengendalian malaria karena menargetkan perilaku spesifik nyamuk *Anopheles*, yaitu...

- a. kecenderungan menggigit dan beristirahat di dalam rumah pada malam hari.
 - b. kemampuan terbang sangat tinggi di atas kanopi hutan.
 - c. kebiasaan bertelur di wadah-wadah buatan manusia.
 - d. preferensi menggigit pada siang hari di luar ruangan.
8. Dalam konteks pengendalian DBD, inovasi penggunaan nyamuk ber-*Wolbachia* merupakan contoh dari jenis pengendalian...
- a. lingkungan.
 - b. kimiawi.
 - c. legislatif.
 - d. biologis.
9. Menurut kerangka IVM untuk DBD, peran *fogging* fokus yang benar adalah sebagai...
- a. kegiatan pencegahan rutin yang dilakukan setiap tiga bulan sekali.
 - b. metode utama untuk memberantas jentik nyamuk di penampungan air.
 - c. intervensi sekunder yang reaktif untuk memutus transmisi saat terjadi kasus.
 - d. cara untuk meningkatkan partisipasi masyarakat dalam program PSN.
10. Studi kasus eliminasi malaria di Purworejo mengilustrasikan keberhasilan IVM. Kunci keberhasilan program tersebut adalah...
- a. hanya menggunakan satu metode yang paling canggih, yaitu IRS.
 - b. kombinasi intervensi yang dipilih berdasarkan data surveilans vektor lokal.
 - c. penyerahan seluruh program pengendalian kepada pihak swasta.
 - d. larangan total penggunaan insektisida demi kelestarian lingkungan.

c. Soal Project / Studi Kasus

1. Anda adalah kepala Puskesmas di sebuah kecamatan padat penduduk. Dalam dua minggu terakhir, terjadi peningkatan kasus DBD secara signifikan di Kelurahan X, yang sebelumnya tidak pernah menjadi fokus utama. Laporan dari kader menunjukkan banyak warga yang panik dan menuntut dilakukannya *fogging* massal di seluruh kelurahan. Berdasarkan prinsip-prinsip IVM, susunlah sebuah rencana respons strategis dalam 3 poin utama yang akan Anda sampaikan kepada camat dan tokoh masyarakat. Rencana Anda harus mencakup langkah-langkah jangka pendek untuk mengatasi transmisi dan langkah jangka panjang untuk pencegahan berkelanjutan, serta menyeimbangkan antara tuntutan masyarakat dan praktik kesehatan masyarakat yang efektif.

2. Sebuah perusahaan pertambangan akan membuka lokasi baru di daerah pedalaman Kalimantan yang berbatasan dengan hutan dan memiliki beberapa desa di sekitarnya. Daerah ini memiliki riwayat kasus malaria sporadis, namun dengan kedatangan ribuan pekerja dari berbagai daerah (beberapa dari area endemis tinggi), risiko wabah malaria meningkat tajam. Sebagai konsultan kesehatan masyarakat yang disewa perusahaan, Anda diminta merancang kerangka program pencegahan malaria berbasis IVM. Uraikan 3 komponen utama program yang akan Anda rekomendasikan, dengan menekankan pada aspek kolaborasi lintas sektor, surveilans, dan intervensi spesifik untuk melindungi pekerja dan masyarakat sekitar.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnyana, I. M. D. M., & Surya, A. (2022). Strategy to control and eradicate dengue hemorrhagic fever vectors in Bali. *International Journal of Public Health Science (IJPHS)*, 12(1), 196-196. <https://doi.org/10.11591/ijphs.v12i1.22201>
- Ahyanti, M., & Yushananta, P. (2022). KOMBINASI EKSTRAK DAUN TAPAK DARA (*Catharanthus roseus*) DAN DAUN SIRSAK (*Annona muricata*) SEBAGAI BIO-LARVASIDA. *Ruwa Jurai Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 16(3), 113-113. <https://doi.org/10.26630/rj.v16i3.3611>
- Aisyah, D. N., Kozlakidis, Z., Diva, H., Trimizi, S. N., Sianipar, L. R., Wijayanti, E., Avicena, A. M., & Adisasmito, W. (2022). The Spatial-Temporal Distribution of Chronic Lymphatic Filariasis in Indonesia: A 18-Year Registry-Based Analysis. *Microbiology Research*, 13(4), 681-690. <https://doi.org/10.3390/microbiolres13040049>
- Alvira, N., Saputri, E. S., Asmarani, F. L., Erwanto, R., & Vidayanti, V. (2021). Vector control Aedes sp. during pandemic COVID-19. *International Journal of Public Health Science (IJPHS)*, 10(4), 713-713. <https://doi.org/10.11591/ijphs.v10i4.20924>
- Amrullah, S. H., Dirhamzah, D., Rustam, A., & Hasyimuddin, H. (2021). TINJAUAN UMUM PERILAKU HEWAN DI INDONESIA DAN INTEGRASI KEILMUANNYA. *TEKNOSAINS MEDIA INFORMASI SAINS DAN TEKNOLOGI*, 15(1), 1-1. <https://doi.org/10.24252/teknosains.v15i1.15379>
- Asmiani, A., Windusari, Y., & Hasyim, H. (2021). Malaria Vector Control and the Electronic Malaria Surveillance Information System (E-SISMAL) in Bangka Barat Regency Indonesia. *JURNAL KESEHATAN LINGKUNGAN*, 13(4), 241-241. <https://doi.org/10.20473/jkl.v13i4.2021.241-249>
- Balili, S., & Yuamita, F. (2022). Analisis Pengendalian Risiko Kecelakaan Kerja Bagian Mekanik Pada Proyek PLTU Ampana (2x3 MW) Menggunakan Metode Job Safety Analysis (JSA). *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, 1(2), 61-69. <https://doi.org/10.55826/tmit.v1i1.14>
- 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), 924-924. <https://doi.org/10.3390/insects13100924>
- Dhenge, N. F., Pakan, P. D., & Lidia, K. (2021). UJI EFEKTIVITAS LARVASIDA EKSTRAK DAUN PEPAYA (*Carica papaya*) TERHADAP MORTALITAS LARVA VEKTOR DEMAM BERDARAH DENGUE Aedes aegypti. *Cendana Medical Journal*, 9(1), 156-163. <https://doi.org/10.35508/cmj.v9i1.4950>

- Fazri, A., Darmawan, D., Iskandar, A., Zuhri, A., Amri, S., & Syam, F. (2023). Sosialisasi Lingkungan Sehat Bebas dari Sampah dan Vektor Penyakit dengan Konsep Pemberdayaan Masyarakat. *Lok Seva Journal of Contemporary Community Service*, 2(1), 45-45. <https://doi.org/10.35308/lokseva.v2i1.6443>
- Febriyanti, D., Aini, S. N., Resta, A. V., & P.K.P, R. B. (2021). Fungsi AMDAL Dalam Pengendalian Kerusakan dan Pencemaran Lingkungan Setelah Diundangkannya UU Cipta Kerja. <https://doi.org/10.37631/widyapranata.v3i2.410>
- Fitri, N., & Riswari, R. M. (2022). Identifikasi Faktor Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja di Fasilitas Pelayanan Kesehatan (Studi Kasus di Puskesmas Kota Malang). *Media Publikasi Promosi Kesehatan Indonesia (MPPKI)*, 5(6), 721-726. <https://doi.org/10.56338/mppki.v5i6.2374>
- Fitriani, D., Raharjo, M., Raharjo, M., Martini, M., Martini, M., Setiani, O., Setiani, O., Wahyuningsih, N. E., & Wahyuningsih, N. E. (2023). Penerapan Integrated Vector Management (IVM) Dalam Upaya Eliminasi Malaria Di Daerah Endemis Kabupaten Purworejo. *JURNAL KESEHATAN LINGKUNGAN INDONESIA*, 22(1), 112-121. <https://doi.org/10.14710/jkli.22.1.112-121>
- Ghaniyyu, F. F., & Husnita, N. (2021). Upaya Pengendalian Perubahan Iklim Melalui Pembatasan Kendaraan Berbahan Bakar Minyak di Indonesia Berdasarkan Paris Agreement. *MORALITY Jurnal Ilmu Hukum*, 7(1), 110-110. <https://doi.org/10.52947/morality.v7i1.196>
- Harmana, D., Wargadinata, E., & Nurdin, I. (2021). PENGELOLAAN SAMPAH BERBASIS COLLABORATIVE GOVERNANCE DI KOTA TARAKAN PROVINSI KALIMANTAN UTARA. *Jurnal Kelola Jurnal Ilmu Sosial*, 13(2), 247-260. <https://doi.org/10.54783/jv.v13i2.430>
- Hasyim, H., Marini, H., Misnaniarti, M., Flora, R., Liberty, I. A., Elagali, A., Hartoni, H., & Maharani, F. E. (2024). Evaluation of the malaria elimination programme in Muara Enim Regency: a qualitative study from Indonesia. *Malaria Journal*, 23(1), 43-43. <https://doi.org/10.1186/s12936-024-04857-7>
- Herawati, T. (2022). Pengaruh Sistem Pengendalian Intern Terhadap Kualitas Laporan Keuangan (Survei Pada Organisasi Perangkat Daerah Pemda Cianjur). *STAR*, 11(1), 1-1. <https://doi.org/10.55916/jsar.v11i1.44>
- Herlina, N., & Supriyatin, U. (2021). AMDAL SEBAGAI INSTRUMEN PENGENDALIAN DAMPAK LINGKUNGAN DALAM PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN DAN BERWAWASAN LINGKUNGAN. *Jurnal Ilmiah Galuh Justisi*, 9(2), 204-204. <https://doi.org/10.25157/justisi.v9i2.5610>
- I., A. T. P., Rahayu, S., & Oktarianti, S. (2022). Pengendalian Hama Tanpa Pestisida Kimia dalam Budidaya Tanaman Sayuran di Kelurahan Kotabaru Pontianak.

- Jurnal Abdi Masyarakat Indonesia*, 2(3), 991-998.
<https://doi.org/10.54082/jamsi.355>
- Irwanto, R., & Gusnia, T. M. (2021). Keanekaragaman Belalang (Orthoptera: Acrididae) pada Ekosistem Sawah di Desa Banyuasin Kecamatan Riau Silip Kabupaten Bangka. *Jurnal Ilmiah Biosaintropis (Bioscience -Tropic)*, 6(2), 78-85. <https://doi.org/10.33474/e-jbst.v6i2.381>
- Kurniawan, D., Najmah, N., & Syakurah, R. A. (2022). PERAN KADER TB DALAM PENGEMBANGAN APLIKASI SULI SIMULATOR. *Jurnal Endurance*, 6(3), 536-550. <https://doi.org/10.22216/jen.v6i3.597>
- Kurniawati, R. D., & Abiyyah, S. F. (2021). Analisis Sanitasi Dasar Lingkungan Dengan Kejadian Diare Balita Di Kelurahan Babakansari Kecamatan Kiaracondong Bandung. *Window of Health Jurnal Kesehatan*, 75-84. <https://doi.org/10.33096/woh.v4i1.683>
- Leri, C. Y. A. P., Setyobudi, A., & Ndoen, E. M. (2021). Density Figure of Aedes Aegypti Larvae and Community Participation in Prevention of Dengue Hemorrhagic Fever (DHF). *Lontar Journal of Community Health*, 3(3), 123-132. <https://doi.org/10.35508/ljch.v3i3.4329>
- Lesminda, E., & Rochmawati, R. (2021). Pengaruh Uang Saku, Teman Sebaya, Lingkungan Sekitar Terhadap Pengendalian Diri Mahasiswa Dalam Pengelolaan Keuangan Di Era Covid-19. *Jurnal Pendidikan Akuntansi (JPak)*, 9(2), 158-167. <https://doi.org/10.26740/jpak.v9n2.p158-167>
- Martina, Y., Wagini, W. W., & Hidayah, N. R. (2022). Analisis Rasio Profitabilitas Untuk Menilai Kinerja Keuangan Pada PT. Kimia Farma (PERSERO) Tbk. *EKOMBIS REVIEW Jurnal Ilmiah Ekonomi dan Bisnis*, 10(1). <https://doi.org/10.37676/ekombis.v10i1.1696>
- Merjani, A., & Kamil, I. (2021). PENERAPAN METODE SEVEN TOOLS DAN PDCA (PLAN DO CHECK ACTION) UNTUK MENGURANGI CACAT PENGELASAN PIPA. *PROFISIENSI Jurnal Program Studi Teknik Industri*, 9(1), 124-131. <https://doi.org/10.33373/profis.v9i1.3313>
- Muhammad, S., Apriyanto, A., & Hardiyanti, S. (2022). IDENTIFIKASI LARVA NYAMUK SEBAGAI VEKTOR PENYAKIT DI TEMPAT PENAMPUNGAN AIR RUMAH SAKIT UMUM DAERAH ABUNAWAS KOTA KENDARI. *JURNAL ANALIS KESEHATAN KENDARI*, 5(1), 11-16. <https://doi.org/10.46356/jakk.v5i1.216>
- Mulyawati, A., Sukesu, T. W., Mulasari, S. A., Setiawan, Y. D., Yuliani, Y., Patmasari, Y., Girsang, T. A., & Damayanti, I. L. (2022). Analisis Situasi Luas Wilayah Reseptif Malaria di Kabupaten Gunungkidul Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 2021. *Sanitasi Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 15(1), 47-60. <https://doi.org/10.29238/sanitasi.v15i1.1448>

- Nugroho, S. S., & Mujiyono, M. (2021). Pembaruan informasi taksonomi nyamuk dan kunci identifikasi fotografis genus nyamuk (Diptera: Culicidae) di Indonesia. *Jurnal Entomologi Indonesia*, 18(1), 55-55. <https://doi.org/10.5994/jei.18.1.55>
- Nurhidayat, R. (2021). PENGENDALIAN KUALITAS AIR PADA BUDIDAYA IKAN LELE JENIS MUTIARA. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kendali dan Listrik*, 1(2), 42-50. <https://doi.org/10.33365/jimel.v1i2.632>
- Prameswarie, T., Ramayanti, I., Ghiffari, A., Hartanti, M. D., Anggina, D. N., Silvana, R., & Ismail, I. A. (2023). Aedes Aegypti Hatchability and Larval Development Based on Three Different Types of Water. *Majalah Kesehatan Indonesia*, 4(1), 27-32. <https://doi.org/10.47679/makein.2023124>
- Pratasik, A. L. Y., Fatimawali, F., & Sumampouw, O. J. (2023). ANALISIS PERENCANAAN, PENGADAAN, DAN PENGENDALIAN OBAT DI INSTALASI FARMASI UNIT PELAKSANA TEKNIK DAERAH RUMAH SAKIT MANEMBO NEMBO TIPE C BITUNG. *Jurnal Kesehatan Tambusai*, 4(4). <https://doi.org/10.31004/jkt.v4i4.21500>
- Prayitno, A., Sitaesmi, M. N., Alisjahbana, B., Halim, C., Wardati, F., Yudiansyach, M., & Hadinegoro, S. R. (2025). Addressing knowledge, attitude and practice gaps for effective dengue management strategies in Indonesia. *Frontiers in Public Health*, 13, 1540121-1540121. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1540121>
- Putranto, H. D., Meriana, M., Brata, B., & Nurmeiliasari, N. (2021). Kelimpahan Relatif Ektoparasit pada Inang Ayam Buras Lokal. *Buletin Peternakan Tropis*, 2(1), 1-8. <https://doi.org/10.31186/bpt.2.1.1-8>
- Putri, I. N. A., & Yushananta, P. (2022). EFEKTIVITAS EKSTRAK DAUN PANDAN WANGI (*Pandanus amaryllifolius*) SEBAGAI BIOLARVASIDA TERHADAP LARVA *Culex* Sp.. *Ruwa Jurai Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 15(3), 109-109. <https://doi.org/10.26630/rj.v15i3.3067>
- Putri, M. A., Chameloza, C., & Anggriani, R. (2021). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Pengalengan Ikan Dengan Metode Statistical Quality Control (Studi Kasus: Pada CV. Pasific Harvest). *Food Technology and Halal Science Journal*, 4(2), 109-123. <https://doi.org/10.22219/fths.v4i2.15603>
- Qonita, N., Andesta, D., & Hidayat, H. (2022). Pengendalian Kualitas Menggunakan Metode Statistical Quality Control (SQC) pada Produk Kerupuk Ikan UD. Zahra Barokah. *Jurnal Optimalisasi*, 8(1), 67-67. <https://doi.org/10.35308/jopt.v8i1.5285>
- Rahmayani, C. A., & Aminah, A. (2021). Efektivitas Pengendalian Sampah Plastik Untuk Mendukung Kelestarian Lingkungan Hidup Di Kota Semarang. *Jurnal Pembangunan Hukum Indonesia*, 3(1), 18-33. <https://doi.org/10.14710/jphi.v3i1.18-33>

- Rau, M. J., & Novita, S. N. (2021). Pengaruh Sarana Air Bersih Dan Kondisi Jamban Terhadap Kejadian Diare Pada Balita Di Wilayah Kerja Puskesmas Tipo. *Preventif Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 12(1), 110-126. <https://doi.org/10.22487/preventif.v12i1.298>
- Rosdiana, D., Hastiaty, I. A., Hartomy, E., Kango, I., Simbolon, P. T., Pradapaningrum, P. G., Indriasih, M., & Paramasatya, A. (2023). Kontaminasi kimia dan biologi pada air dan udara dengan ARKM: analisis risiko kesehatan masyarakat. *Public Health Risk Assessment Journal*, 1(1). <https://doi.org/10.61511/phraj.v1i1.2023.222>
- Savitriani, S., & Maftukhah, N. A. (2021). EFEKTIVITAS VARIASI UMPAN PADA FLY TRAP DALAM PENGENDALIAN KEPADATAN LALAT. *Ruwa Jurai Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 15(1), 16-16. <https://doi.org/10.26630/rj.v15i1.2180>
- Sawitri, H., Maulina, N., Rahayu, M., Lutfi, T. Y., & Rahmi, N. (2023). Manajemen Pengelolaan Identifikasi dan Daur Ulang Sampah Guna Mencegah Penyakit Dbd Di Desa Uteunkot. *Jurnal Malikussaleh Mengabdikan*, 2(1), 223-223. <https://doi.org/10.29103/jmm.v2i1.9326>
- Sendow, I., Assadah, N. S., Ratnawati, A., Dharmayanti, N. I., & Saepulloh, M. (2021). Lumpy Skin Disease: Ancaman Penyakit Emerging Bagi Kesehatan Ternak Sapi Di Indonesia. *Indonesian Bulletin of Animal and Veterinary Sciences*, 31(2), 85-85. <https://doi.org/10.14334/wartazoa.v31i2.2739>
- Siregar, P. A., & Ashar, Y. K. (2021). Analisis Pengetahuan, Motivasi Dan Tindakan Masyarakat Dalam Pencegahan Demam Berdarah Dengue. *JURNAL KESEHATAN LINGKUNGAN Jurnal dan Aplikasi Teknik Kesehatan Lingkungan*, 18(2), 87-96. <https://doi.org/10.31964/jkl.v18i2.303>
- Siswanto, S., Sofarini, D., & Hanifa, M. S. (2021). Kajian Fisika Kimia Perairan Danau Bangkau Sebagai Dasar Pengembangan Budidaya Ikan. *Rekayasa*, 14(2), 245-251. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v14i2.11263>
- Situmorang, H., Noveri, N., Putrina, M., & Fitri, E. R. (2021). Perilaku Petani Padi Sawah Dalam Menggunakan Pestisida Kimia di Kecamatan Harau, Kabupaten Lima Puluh Kota, Sumatera Barat, Indonesia. *Agro Bali Agricultural Journal*, 4(3), 418-424. <https://doi.org/10.37637/ab.v4i3.743>
- Soleha, A. R. (2022). Analisis Laporan Keuangan untuk Menilai Kinerja Keuangan PT Kimia Farma, Tbk. *Jurnal Ecodemica Jurnal Ekonomi Manajemen dan Bisnis*, 6(2), 250-260. <https://doi.org/10.31294/eco.v6i2.13047>
- Sriyanti, S. (2023). Pengendalian Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. *Jurnal Bintang Pendidikan Indonesia*, 1(2), 24-39. <https://doi.org/10.55606/jubpi.v1i2.1327>
- Suari, L. G. S. A., Haq, A. D., & Rahayu, L. A. D. (2021). POTENSI EKSTRAK BUNGA KAMBOJA (PLUMERIA SP.) DAN BUNGA KLUWIH (ARTOCARPUS CAMANSI)

- SEBAGAI BIOLARVASIDA NYAMUK ANOPHELES SP. DALAM UPAYA PENCEGAHAN PENYAKIT MALARIA. *JIMKI Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kedokteran Indonesia*, 8(3), 137-145. <https://doi.org/10.53366/jimki.v8i3.267>
- Sulidah, S., Damayanti, A., & Paridah, P. (2021). Perilaku Pencegahan Demam Berdarah Dengue Masyarakat Pesisir. *Poltekita Jurnal Ilmu Kesehatan*, 15(1), 63-70. <https://doi.org/10.33860/jik.v15i1.355>
- Sutriyawan, A., Manap, A., Sulami, N., Setiyadi, A., Riskiah, D. M., Kurniawati, R. D., & Khariri, K. (2023). Analysis of entomological indicators and distribution of <i>Aedes aegypti</i> larvae in dengue endemic areas. *Journal of microbiology epidemiology immunobiology*, 100(4), 314-320. <https://doi.org/10.36233/0372-9311-406>
- Tanjung, N., Auliani, R., Rusli, M., Siregar, I. R., & Taher, M. (2023). Peran Kesehatan Lingkungan dalam Pencegahan Penyakit Menular pada Remaja di Jakarta: Integrasi Ilmu Lingkungan, Epidemiologi, dan Kebijakan Kesehatan. *Jurnal Multidisiplin West Science*, 2(09), 790-798. <https://doi.org/10.58812/jmws.v2i09.629>
- Tokan, P. K., Paschalia, Y. P. M., & Artama, S. (2022). Pencegahan Demam Berdarah Melalui Program Juru Pemantau Jentik (Jumantik) di SD Inpres Watujara Kabupaten Ende. *I-Com Indonesian Community Journal*, 2(2), 310-319. <https://doi.org/10.33379/icom.v2i2.1534>
- Triana, D., Siregar, F. N., Utami, E. P. W. T., Suteky, T., & Wicaksono, S. (2021). ENTOMOLOGICAL PARAMETERS AND CHARACTERIZATION OF INSECTICIDE RESISTANCE IN DENGUE VECTOR AEDES AEGYPTI LARVAE FROM BENGKULU CITY, INDONESIA. *Malaysian Journal of Public Health Medicine*, 21(1), 96-102. <https://doi.org/10.37268/mjphm/vol.21/no.1/art.467>
- Utami, T. P., Hasyim, H., Kaltsum, U., Dwifitri, U., Meriwati, Y., Yuniwanti, Y., Paridah, Y., & Zulaiha, Z. (2022). Faktor Risiko Penyebab Terjadinya Malaria di Indonesia : Literature Review. *Jurnal Surya Medika*, 7(2), 96-107. <https://doi.org/10.33084/jsm.v7i2.3211>
- Werita, D., & Nofrialdi, R. (2021). Analisis Efektivitas Pengelolaan Dan Sistem Pengendalian Piutang Pada PT. Dagna Medika. *Jurnal Akademi Akuntansi Indonesia Padang*, 1(1), 13-21. <https://doi.org/10.31933/prn9sa51>
- Widartono, B. S., Suharyadi, S., Satoto, T. B. T., & Mujiyanto, M. (2022). Penentuan Wilayah Reseptif Malaria di Perbukitan Menoreh dengan Menggunakan Basis Data Nasional Kebijakan Satu Peta. *Jurnal Kesehatan Vokasional*, 7(3), 157-157. <https://doi.org/10.22146/jkesvo.75453>
- Yuliana, A., Rinaldi, R. A., Rahayuningsih, N., & Gustaman, F. (2021). Efektivitas Larvasida Granul Ekstrak Etanol Daun Pisang Nangka (Musa x paradisiaca

L.) terhadap Larva Nyamuk *Aedes aegypti*. *ASPIRATOR - Journal of Vector-borne Disease Studies*, 13(1), 69-78.
<https://doi.org/10.22435/asp.v13i1.4042>

LAMPIRAN: KUNCI JAWABAN

Kunci Jawaban BAB 1

a. Essay

1. Nyamuk berperan aktif karena patogen (virus Dengue) bereplikasi di dalamnya (inkubasi ekstrinsik). Air hanya media pasif yang memindahkan bakteri kolera. Implikasinya, pengendalian DBD menargetkan nyamuk (vektor), sedangkan kolera menargetkan pemutusan kontak dengan air terkontaminasi (media).
2. PSN 3M Plus lebih berkelanjutan, preventif, dan memberdayakan masyarakat untuk menghilangkan sarang nyamuk (*source reduction*). Fogging hanya membunuh nyamuk dewasa sesaat, tidak mengatasi jentik, berisiko resistensi, dan berdampak pada lingkungan, sehingga lebih cocok sebagai respons cepat, bukan solusi jangka panjang.
3. Identifikasi akurat penting karena spesies vektor berbeda memiliki perilaku, habitat, dan patogen yang berbeda. *Anopheles* (malaria) dan *Aedes* (DBD) memiliki tempat perindukan dan waktu aktif yang berbeda, sehingga strategi pengendalian (misal: IRS vs PSN) harus disesuaikan agar tepat sasaran dan efisien.
4. Larvasida biologis (Bti, ikan) bersifat spesifik target (aman bagi non-target), ramah lingkungan, dan tidak menyebabkan resistensi seperti larvasida kimia. Penggunaannya mendukung keberlanjutan ekosistem lokal dan mengurangi ketergantungan pada bahan kimia yang berpotensi toksik dalam jangka panjang.
5. Keduanya bertujuan mencegah gigitan nyamuk malaria. Kelambu (fisik) menciptakan penghalang personal saat tidur dan membunuh nyamuk yang kontak. IRS (kimia) membunuh nyamuk yang hinggap di dinding setelah mengisap darah, memutus siklus penularan di level rumah tangga, melindungi semua penghuni rumah.

b. Pilihan Ganda

1. C
2. D
3. C
4. D
5. B
6. B
7. C
8. C
9. C
10. B

c. Studi Kasus / Proyek

1. Rencana harus mencakup: (1) Intervensi Jangka Pendek: Fogging fokus di area dengan kasus terbanyak, diikuti dengan larvasiding massal. (2) Intervensi Jangka Menengah: Mengaktifkan kembali juru pemantau jentik (jumantik) dan gerakan PSN 3M Plus secara serentak di seluruh RT/RW. (3) Edukasi: Menjelaskan bahwa fogging hanya membunuh nyamuk terbang, sementara jentik akan terus berkembang biak jika sarangnya tidak dihilangkan. ABJ 40% menunjukkan sumber masalah ada di lingkungan.
2. Rekomendasi terintegrasi: (1) Lingkungan: Mendesain sistem drainase perkebunan agar tidak menciptakan genangan air yang menjadi habitat larva *Anopheles*. (2) Fisik: Mewajibkan penyediaan dan penggunaan kelambu berinsektisida (LLINs) di barak pekerja. (3) Biologis/Surveilans: Melakukan survei larva secara berkala dan mempertimbangkan penebaran ikan pemakan jentik di kolam/kanal yang tidak bisa dihilangkan. Ini lebih proaktif dan berkelanjutan daripada hanya bergantung pada penyemprotan.

Kunci Jawaban BAB 2

a. Essay

1. PSN 3M Plus memutus rantai "Cara Penularan" dengan memberantas vektor. Vaksinasi memutus rantai "Inang Rentan" dengan menciptakan imunitas. Kombinasi ini lebih superior karena menciptakan pertahanan berlapis; jika satu gagal (misal, jentik terlewat), yang lain masih memberikan perlindungan, mengurangi probabilitas transmisi secara keseluruhan.
2. Perbedaan utama: agen (protozoa vs virus), virulensi (*P. falciparum* tinggi vs DENV bervariasi dengan ADE), dan target terapi (membunuh parasit vs suportif). Tantangan malaria adalah resistansi obat dan vektor, sementara tantangan Dengue adalah kompleksitas imunitas akibat multi-serotipe yang memicu ADE.
3. Sanggahan: Pernyataan ini terlalu menyederhanakan. Pada penyakit zoonosis dengan reservoir hewan liar yang luas (misal, pes), mengendalikan vektor (pinjal) saja sangat sulit. Intervensi pada reservoir (misal, manajemen populasi tikus) atau melindungi inang (manusia) bisa menjadi lebih prioritas atau sama pentingnya.
4. Investigasi: (1) Agen: Ambil sampel darah untuk identifikasi virus. (2) Reservoir: Cari tahu apakah ada hewan primata di sekitar yang sakit. (3) Portal Keluar/Masuk: Wawancara gejala, periksa bekas gigitan. (4) Cara Penularan: Tangkap nyamuk untuk identifikasi spesies. (5) Inang Rentan: Petakan kasus berdasarkan usia, jenis kelamin, pekerjaan.

5. Kesalahan identifikasi ini fatal. Contoh: Penyakit X ditularkan oleh nyamuk dari reservoir monyet ke manusia. Jika program keliru menganggap manusia sebagai reservoir, intervensi akan fokus pada isolasi pasien. Padahal, sumber infeksi utama (monyet) terus ada, membuat penularan terus berjalan dan program gagal total.

b. Pilihan Ganda

1. C.
2. B.
3. D.
4. A.
5. B.
6. B.
7. C.
8. C.
9. C.
10. D.

c. Studi Kasus / Proyek

1. Kerangka Investigasi: (1) Agen: Ambil spesimen klinis (darah, biopsi kulit) untuk identifikasi patogen. (2) Reservoir: Survei hewan pengerat/primata kecil di sekitar pemukiman dan hutan. (3) Portal Keluar: Apakah lesi kulit mengandung agen? (4) Cara Penularan: Kumpulkan tungau dari semak dan pasien untuk identifikasi dan tes patogen. (5) Portal Masuk: Periksa lokasi gigitan tungau. (6) Inang Rentan: Petakan kasus berdasarkan demografi dan riwayat aktivitas merambah hutan.
2. Hipotesis: (1) Munculnya atau dominasi serotipe Dengue baru yang sebelumnya tidak beredar, memicu wabah parah melalui mekanisme ADE pada populasi yang sudah memiliki imunitas terhadap serotipe lama. (2) Terjadinya resistansi insektisida pada populasi nyamuk *Aedes* lokal, membuat fogging tidak lagi efektif. (3) "Lull-effect": Keberhasilan program membuat masyarakat lengah dan aktivitas Jumantik/PSN menurun, menyebabkan peningkatan densitas vektor secara diam-diam hingga mencapai ambang batas wabah.

Kunci Jawaban BAB 3

a. Essay

1. Program *fogging*-only gagal karena bersifat hilir dan reaktif, hanya membunuh nyamuk dewasa sesaat tanpa menghentikan produksi nyamuk baru dari sarangnya. Modifikasi fundamental adalah mengintegrasikan intervensi hulu, yaitu PSN melalui gerakan Jumantik untuk memberantas larva di tempat perindukan.

2. Tantangan di Jakarta: banyaknya kontainer buatan manusia yang sulit dijangkau, mobilitas penduduk tinggi. Intervensi fokus pada PSN 3M Plus. Tantangan di Purworejo: habitat alami yang luas (sawah, sungai), sulit dieliminasi. Intervensi fokus pada manajemen lingkungan/air dan larvasida di titik spesifik.
3. Kerangka pesan: (1) Nyamuk DBD berkembang di air jernih di rumah kita, bukan di selokan. (2) Satu jentik hari ini adalah puluhan nyamuk dewasa minggu depan. (3) Melindungi keluarga dimulai dari menguras bak mandi, bukan menunggu asap *fogging* yang hanya solusi sementara.
4. Telur: intervensi dengan menyikat dinding kontainer untuk merusak telur. Larva: intervensi utama dengan 3M Plus (menguras, menutup, mendaur ulang) atau larvasida. Dewasa: intervensi reaktif dengan *fogging* saat wabah atau penggunaan kelambu/repelen untuk proteksi personal. Justifikasinya adalah menargetkan fase paling rentan dan terkonsentrasi (larva).
5. Buruknya sanitasi (selokan tersumbat, septic tank meluap) menciptakan habitat perindukan ideal bagi *Culex quinquefasciatus*, yang menyukai air kotor kaya bahan organik. Peningkatan populasi vektor ini secara langsung meningkatkan kontak dengan manusia dan risiko transmisi filariasis di lingkungan urban yang padat.

b. Pilihan Ganda

1. C.
2. B.
3. B.
4. A.
5. C.
6. C.
7. B.
8. B.
9. C.
10. C.

c. Studi Kasus / Proyek

1. Rencana harus mengalihkan fokus dari *fogging* ke intervensi hulu. Komponen: (1) Aktivasi/pelatihan kader Jumantik di setiap RT untuk melakukan survei, edukasi, dan pemberantasan sarang nyamuk mingguan. (2) Kampanye 3M Plus massal. (3) *Fogging* fokus hanya dilakukan di area dengan kasus aktif (radius tertentu) sebagai pelengkap, bukan program utama. Justifikasi: menekan populasi di sumbernya adalah cara paling efektif dan hemat biaya.

2. Analisis risiko: Pembukaan lahan dapat menciptakan genangan air baru (bekas galian, saluran irigasi) yang menjadi habitat *Anopheles* (vektor malaria). Peningkatan jumlah pekerja dan sanitasi yang buruk di kamp dapat menciptakan habitat air kotor untuk *Culex* (vektor filariasis). Rekomendasi: (1) Sistem drainase yang baik untuk mencegah genangan air. (2) Pengelolaan limbah domestik yang terpusat dan saniter. (3) Surveilans jentik rutin di area berisiko.

Kunci Jawaban BAB 4

a. Essay

1. *Aedes* bertelur di dinding kontainer buatan, telur tahan kering, larva menggantung vertikal. *Anopheles* bertelur di permukaan air alami, telur tidak tahan kering, larva paralel. Perbedaan ini mendikte pengendalian *Aedes* pada PSN domestik dan *Anopheles* pada manajemen lingkungan/larvasiding habitat alami.
2. Nyamuk aktif malam hari dan tanpa belang kemungkinan besar adalah *Anopheles* atau *Culex*. Langkah lanjut: periksa postur istirahat (menungging untuk *Anopheles*) dan panjang palpus. Rekomendasi awal: gunakan kelambu, bersihkan genangan air di luar rumah, dan pasang kawat kasa.
3. Di perkotaan, risiko utama adalah arbovirus yang ditularkan *Aedes*. Kemampuan membedakan *Ae. aegypti* (vektor utama) dari *Ae. albopictus* (vektor sekunder) penting untuk fokus intervensi dan analisis risiko. Ancaman malaria (vektor *Anopheles*) di perkotaan umumnya jauh lebih rendah.
4. Argumentasi harus menekankan bahwa kelambu melindungi dari gigitan *Anopheles* di malam hari saat risiko penularan malaria paling tinggi. Nyamuk kebun di sore hari kemungkinan genus lain (*Aedes* atau *Culex*) yang risikonya berbeda dan memerlukan metode pengendalian tambahan (misalnya, PSN atau larvasiding).
5. Telur tahan kering adalah strategi bertahan hidup nyamuk, bukan kegagalan program. Temuan jentik pasca-hujan menunjukkan adanya "bank telur" di lingkungan yang belum terjangkau PSN saat kering. Ini menjadi justifikasi untuk mengintensifkan PSN justru sebelum dan saat awal musim hujan.

b. Pilihan Ganda

1. B
2. C
3. D
4. B
5. C
6. B
7. C

8. C
9. C
10. B

c. Studi Kasus / Proyek

1. Kemungkinan penyebab: 1) PSN tidak konsisten/menyeluruh, 2) Ada tempat perindukan tersembunyi/tidak terduga (talang air, dispenser), 3) Resistensi telur (desikasi) membuat jentik muncul kembali pasca-pembersihan. Strategi: 1) Survei jentik acak stratifikasi untuk identifikasi hotspot, 2) Ovitrap survey untuk memetakan kepadatan populasi dewasa, 3) Edukasi terfokus pada siklus hidup telur dan pentingnya PSN berkelanjutan, bukan reaktif.
2. Rencana survei: 1) Penangkapan nyamuk dewasa: Umpan Orang di Dalam dan Luar Rumah (HLC) pada malam hari, resting collection pagi hari di dinding rumah. 2) Survei larva: Dipping di habitat air alami (rawa, tepi sungai). Identifikasi kunci: Postur istirahat (menungging), panjang palpus, posisi larva (paralel). Rekomendasi: Segera distribusikan kelambu berinsektisida, lakukan larvasiding di habitat positif, dan edukasi masyarakat tentang risiko malaria dan perilaku pencegahan.

Kunci Jawaban BAB 5

a. Essay

1. Keduanya vektor mekanik. Lalat mentransmisikan patogen via permukaan tubuh (kaki, probosis) dari feses/sampah ke makanan. Kecoa Amerika mentransmisikan patogen dari selokan/area lembap ke permukaan dapur/peralatan masak, seringkali pada malam hari, serta melalui kotoran dan muntahannya.
2. Evaluasi: Pernyataan valid. Populasi lalat tinggi mencerminkan ketersediaan media berkembang biak (sampah organik, feses) yang merupakan hasil dari sanitasi dan pengelolaan limbah yang buruk. Perilaku lalat menghubungkan sumber kotoran ini langsung ke makanan manusia, meningkatkan risiko penyakit enterik.
3. Implikasi ganda: (1) Sebagai vektor mekanik, *B. germanica* mengontaminasi makanan dan peralatan di dapur dengan patogen dari sisa makanan busuk. (2) Sebagai sumber alergen, protein dari kotoran dan serpihan tubuhnya terakumulasi di dalam ruangan, menjadi pemicu utama serangan asma.
4. Strategi: Kombinasi. Untuk kecoa Jerman di dapur: fokus pada kebersihan (hilangkan sisa makanan/air), tutup celah, gunakan umpan gel di area tersembunyi. Untuk kecoa Amerika: perbaiki drainase, tutup akses dari selokan, lakukan pembersihan gudang, dan pertimbangkan *space spray* jika infestasi berat.

5. Identifikasi spesies krusial karena menentukan biologi, habitat, dan perilaku vektor. Ini memungkinkan strategi kontrol yang tepat sasaran. Contoh: Umpan gel efektif untuk kecoa Jerman di dapur, namun tidak efektif untuk kecoa Amerika yang sumbernya dari selokan, yang memerlukan perbaikan sanitasi drainase.

b. Pilihan Ganda

1. B
2. C
3. B
4. B
5. A
6. B
7. C
8. D
9. B
10. C

c. Studi Kasus / Proyek

1. Rencana Investigasi: Survei kepadatan lalat (*fly grill index*), identifikasi tempat perindukan utama (tumpukan sampah organik basah), wawancara penderita diare terkait pola makan. Rekomendasi Intervensi: (1) Gerakan kerja bakti pembersihan lingkungan dan pengelolaan sampah dengan sistem 3R. (2) Edukasi masyarakat untuk menutup makanan dan menjaga kebersihan dapur. (3) Koordinasi dengan dinas kebersihan untuk pengangkutan sampah TPS secara rutin.
2. Analisis: Vektor kemungkinan besar adalah kecoa Jerman (*Blattella germanica*) berdasarkan deskripsi ukuran, warna, dan habitat. Mekanisme: Protein alergen dari kotoran, air liur, dan serpihan tubuh kecoa menjadi debu rumah yang terhirup oleh siswa, memicu reaksi alergi dan serangan asma. Rencana Aksi: (1) Pembersihan total dan sanitasi kantin. (2) Pengendalian kecoa dengan umpan gel dan penutupan celah. (3) Edukasi kepada pengelola kantin tentang HAKTP dan kepada orang tua tentang risiko alergen kecoa di rumah.

Kunci Jawaban BAB 6

a. Essay

1. Surveilans adalah proses siklis (data-analisis-interpretasi-tindakan-evaluasi), sementara survei berulang hanya pengumpulan data. Surveilans berfungsi sebagai "sistem peringatan dini" yang proaktif, sedangkan survei berulang bersifat reaktif dan tidak terintegrasi dalam siklus pengambilan keputusan untuk pencegahan.

2. *Cross-sectional* (misal: survei jentik serentak) cepat & murah untuk evaluasi sesaat, tapi tidak bisa melihat tren. *Longitudinal* (misal: pemantauan ovitrap mingguan di rumah yang sama) lebih mahal tapi dapat menunjukkan dampak PSN dari waktu ke waktu dan pengaruh musiman.
3. Tujuan utama: deteksi dini dan pemetaan sebaran untuk mencegah re-introduksi transmisi. Desain: survei *cross-sectional* awal dengan *purposive sampling* di lokasi temuan, diikuti surveilans sentinel *longitudinal* di lokasi-lokasi berisiko tinggi (dekat hutan, permukiman baru) untuk pemantauan berkelanjutan.
4. Bias seleksi akan terjadi, menghasilkan data yang tidak representatif. ABJ kemungkinan akan terlihat sangat tinggi (baik). Konsekuensinya adalah rasa aman yang palsu (*false sense of security*), penghentian intervensi yang masih dibutuhkan, dan potensi ledakan kasus DBD karena area permukiman padat tidak terpantau.
5. Pernyataan tersebut valid. Tanpa surveilans, (1) intervensi tidak tertarget (perencanaan buruk), (2) tidak ada data dasar untuk mengukur keberhasilan (evaluasi mustahil), (3) tidak ada peringatan dini, dan (4) program bisa sia-sia karena menggunakan insektisida yang sudah tidak efektif (deteksi resistensi tidak ada).

b. Pilihan Ganda

1. B
2. B
3. C
4. B
5. C
6. C
7. C
8. D
9. C
10. C

c. Studi Kasus / Proyek

1. Proposal harus merekomendasikan desain surveilans sentinel. Pilih beberapa lokasi (misal: kelurahan/sekolah) dengan riwayat kasus tertinggi sebagai "situs sentinel". Di situs ini, lakukan pemantauan *longitudinal* (misal: ovitrap/larva survey mingguan) dengan *purposive sampling*. Desain ini efisien karena memfokuskan sumber daya terbatas pada area paling berisiko untuk memberikan peringatan dini dan data tren evaluasi PSN yang konsisten.
2. Rencana investigasi harus mencakup: (1) Uji kerentanan insektisida (bioassay) menggunakan nyamuk hasil tangkapan lapangan untuk

menguji hipotesis resistensi. (2) Survei penangkapan nyamuk sepanjang malam (misal: *human landing catch*) di dalam dan di luar rumah untuk mengidentifikasi puncak waktu dan lokasi menggigit (menguji hipotesis perubahan perilaku). (3) Survei larva untuk mengidentifikasi sarang perkembangbiakan aktif yang mungkin terlewat.

Kunci Jawaban BAB 7

a. Essay

1. HI mengukur sebaran (distribusi) vektor, cocok untuk evaluasi cakupan program. BI mengukur densitas (kepadatan) tempat perindukan, krusial untuk asesmen risiko. BI mutlak perlu saat HI rendah namun kasus tinggi, karena BI bisa mengungkap adanya beberapa rumah dengan banyak sekali kontainer positif (super-producer).
2. Kelebihan ABJ: mudah dipahami dan diukur oleh kader/masyarakat, memotivasi partisipasi. Kelemahan: menyembunyikan intensitas perkembangbiakan. ABJ 95% bisa berarti 5% rumah yang positif masing-masing memiliki puluhan kontainer jentik, menciptakan risiko tinggi yang tidak tergambar oleh angka ABJ.
3. Proposal: Kombinasi Ovitrap Index (OI) dan survei larva. Pasang ovitrap di titik-titik strategis (gudang, area kargo, dekat kapal) sebagai sistem peringatan dini (sensitivitas tinggi). Jika OI positif, segera lakukan survei larva intensif di sekitar lokasi untuk menemukan, mengidentifikasi, dan memberantas sumbernya.
4. Dasar ilmiah: Pupa adalah stadium pra-dewasa terakhir dengan mortalitas alami sangat rendah, sehingga jumlahnya berkorelasi kuat dengan jumlah nyamuk dewasa yang akan muncul. Kendala praktis: pupa lebih sulit ditemukan, jumlahnya lebih sedikit, dan memerlukan waktu pencarian yang lebih lama per kontainer.
5. Indeks larva hanya mengukur potensi produksi vektor, bukan populasi dewasa yang infeksi. Wabah dipengaruhi faktor lain: kepadatan nyamuk dewasa, angka harapan hidup nyamuk, perilaku menggigit, sirkulasi virus di populasi manusia, dan status imunitas masyarakat.

b. Pilihan Ganda

1. B
2. C
3. C
4. A
5. C
6. C
7. B
8. B

9. B

10. B

c. Studi Kasus / Proyek

1. Analisis: Ketergantungan pada ABJ mengabaikan intensitas perindukan. ABJ >95% bisa menyembunyikan fakta bahwa 5% rumah yang positif merupakan *super-producer* dengan BI yang sangat tinggi, cukup untuk menopang transmisi. Rekomendasi: Lakukan survei BI secara periodik untuk mengukur densitas perindukan sesungguhnya. Pasang ovitrap untuk memantau aktivitas nyamuk dewasa yang tidak terdeteksi survei larva. BI tinggi memicu fogging fokus/larvasidasi massal; OI tinggi memicu pencarian sarang dewasa.
2. Strategi: Terapkan surveilans sentinel berbasis ovitrap. Pasang ovitrap di lokasi strategis (pasar, terminal, sekolah) yang menjadi pusat pergerakan manusia dan potensi perindukan. Data OI mingguan dari titik-titik ini berfungsi sebagai "alarm". Jika OI di suatu titik (misal, pasar) meningkat tajam, Puskesmas memfokuskan sumber daya terbatasnya untuk melakukan survei larva dan PSN intensif di area sekitar pasar tersebut, bukan di seluruh wilayah kerja.

Kunci Jawaban BAB 8

a. Essay

1. "Lorong gema entomologis" adalah pengambilan keputusan yang terisolasi hanya pada data vektor. Integrasi data memberikan konteks epidemiologis (di mana penyakit terjadi) dan lingkungan (mengapa terjadi). Tanpa integrasi, program berisiko salah sasaran, membuang sumber daya pada area dengan vektor tinggi tetapi transmisi rendah.
2. Tantangan utamanya adalah perbedaan skala waktu (harian, mingguan, triwulanan) dan ruang (RT/RW, kelurahan, stasiun cuaca). Kerangka kerja: 1) Bentuk tim lintas-instansi. 2) Sepakati unit analisis bersama (misal, kelurahan-mingguan). 3) Gunakan kode wilayah standar untuk menyatukan data secara geospasial.
3. Analisis temporal (time lag) berguna untuk peringatan dini dan penjadwalan intervensi (kapan). Analisis spasial (hotspot) berguna untuk penargetan lokasi (di mana). Dalam anggaran terbatas, prioritas pada analisis spasial seringkali lebih efisien karena memungkinkan alokasi sumber daya yang langka ke area dengan beban penyakit tertinggi saat ini.
4. Proposal JE: Integrasi data 1) Entomologi: Peta sebaran vektor nyamuk *Culex*. 2) Epidemiologi: Lokasi kasus ensefalitis akut. 3) Lingkungan: Peta sawah irigasi dan peternakan babi. 4) Sosial: Kepadatan penduduk dan kepemilikan ternak per rumah tangga. Kombinasi ini mengidentifikasi area tumpang tindih antara vektor, reservoir (babi), dan manusia.

5. Pro: Investasi SIG memungkinkan analisis spasial dan temporal yang canggih, identifikasi hotspot, dan penargetan intervensi yang efisien, sehingga dalam jangka panjang lebih hemat biaya. Kontra: Di daerah terbatas, biaya awal, kebutuhan pelatihan, dan pemeliharaan data bisa menjadi penghalang. Alternatif seperti *spreadsheet* terstruktur masih bisa memberikan nilai awal.

b. Pilihan Ganda

1. B
2. B
3. B
4. A
5. C
6. C
7. B
8. C
9. B
10. C

c. Studi Kasus / Proyek

1. Rencana Aksi: 1) Membentuk tim kecil dari divisi surveilans dan kesehatan lingkungan. 2) Menstandarisasi data dengan menyepakati unit analisis (misal, agregasi data kasus mingguan menjadi bulanan agar setara dengan data ABJ). 3) Menggabungkan data ke dalam satu *spreadsheet* atau peta SIG dengan kelurahan sebagai unit spasial. Pertanyaan Analisis Awal: "Apakah kelurahan dengan ABJ >95% tetap menunjukkan peningkatan kasus DBD, dan jika ya, apakah ada keterlambatan waktu antara laporan ABJ dan puncak kasus?"
2. Hipotesis Anomali: 1) Mobilitas Penduduk: Warga di hotspot bekerja di area lain yang merupakan sumber infeksi (misal, pasar becek, area pertanian). Data tambahan: Peta pola pergerakan/komuter. 2) Faktor Lingkungan Tersembunyi: Ada sumber air tercemar yang tidak terkait banjir (misal, selokan tersumbat, limbah ternak). Data tambahan: Peta drainase dan lokasi peternakan. 3) Perilaku Berisiko: Warga di hotspot memiliki perilaku berisiko tinggi (misal, bertani tanpa alas kaki). Data tambahan: Survei cepat perilaku.

Kunci Jawaban BAB 9

a. Essay

1. Bahaya adalah keberadaan nyamuk *Aedes albopictus*, sedangkan risiko adalah probabilitas penularan Chikungunya. Kecamatan padat penduduk dengan sanitasi buruk (kerentanan tinggi) memiliki risiko lebih tinggi

daripada kecamatan dengan perumahan jarang dan kesadaran 3M tinggi, meskipun bahaya (keberadaan nyamuk) tersebar merata.

2. Pernyataan tersebut tidak tepat. Manajemen risiko tidak akan efektif tanpa dasar yang kuat dari tahap sebelumnya. Identifikasi bahaya dan penilaian risiko memberikan informasi krusial tentang "apa" dan "di mana" masalahnya, sehingga tindakan manajemen menjadi terarah, efisien, dan berbasis bukti, bukan asal-asalan.
3. Perubahan tata guna lahan menciptakan genangan air di area pembukaan lahan (habitat baru *Anopheles*). Ini meningkatkan paparan bagi pekerja migran non-imun (kerentanan populasi tinggi) yang tinggal di kamp sementara. Kombinasi habitat baru dan populasi rentan ini secara drastis meningkatkan risiko transmisi malaria.
4. Komunikasi risiko harus melibatkan tokoh masyarakat, kader, dan aparat desa. Pesan kunci harus berfokus pada hubungan antara jentik di rumah dan risiko DBD bagi keluarga, menekankan 3M Plus sebagai tindakan perlindungan kolektif, bukan hanya kewajiban pemerintah. Tujuannya adalah pemberdayaan, bukan menakut-nakuti.
5. Peningkatan suhu mempercepat siklus hidup nyamuk dan replikasi virus di tubuhnya, memungkinkan transmisi terjadi di ketinggian yang sebelumnya terlalu dingin. Perubahan pola hujan dapat menciptakan tempat perindukan baru, sehingga wilayah dataran tinggi yang tadinya hanya memiliki bahaya kini menghadapi risiko nyata.

b. Pilihan Ganda

1. B
2. A
3. C
4. C
5. D
6. C
7. B
8. A
9. B
10. B

c. Studi Kasus / Proyek

1. Usulan langkah: (1) Penilaian Risiko: Segera lakukan survei larva cepat (rapid survey) di area laporan untuk kuantifikasi kepadatan jentik (misal, Angka Bebas Jentik) dan prioritaskan wilayah paling berisiko. (2) Manajemen Risiko: Aktifkan gerakan PSN serentak di wilayah prioritas, siapkan logistik larvasida, dan pertimbangkan penjadwalan fogging fokus jika ditemukan kasus. (3) Komunikasi Risiko: Keluarkan edaran

kewaspadaan dini melalui media lokal dan grup komunitas, instruksikan puskesmas untuk meningkatkan penyuluhan.

2. Memo harus menjelaskan bahwa keberadaan nyamuk *Anopheles* adalah 'bahaya' yang persisten. Proyek akan memperkenalkan populasi manusia non-imun (wisatawan, staf) yang 'rentan' ke area bahaya, sehingga menciptakan 'risiko' penularan yang baru dan tinggi. Data yang dibutuhkan sebelum izin: survei spesies *Anopheles* dan tingkat kepadatan, uji infektivitas pada nyamuk, dan analisis pergerakan manusia untuk memodelkan risiko dan merancang strategi mitigasi (misal, penapisan dan profilaksis untuk pekerja).

Kunci Jawaban BAB 10

a. Essay

1. *Source reduction* (PSN) lebih berkelanjutan dan hemat biaya jangka panjang karena menyerang akar masalah. *Fogging* hanya solusi sesaat dan mahal. PSN mendorong pemberdayaan dan perubahan perilaku, sementara *fogging* menciptakan ketergantungan dan rasa aman palsu. Efektivitas PSN diukur dari pencegahan, bukan pembunuhan sesaat.
2. Peran Jumantik melampaui teknis (mencari jentik) ke sosial (edukator, motivator, negosiator). Mereka membangun kepercayaan, melakukan komunikasi risiko personal, dan menjadi teladan. Ini adalah inti pemberdayaan masyarakat, mengubah pengetahuan menjadi tindakan kolektif yang berkelanjutan, bukan sekadar pengawasan.
3. Kerangka intervensi harus mencakup: 1) Edukasi intensif melalui media lokal dan tokoh masyarakat. 2) Revitalisasi Jumantik dengan model "Satu Rumah Satu Jumantik" untuk menumbuhkan tanggung jawab individu. 3) Menciptakan kompetisi sehat antar-RT dengan penghargaan untuk RT dengan ABJ tertinggi.
4. Target *Aedes aegypti* (PSN 3M Plus) adalah air bersih yang tidak berkontak dengan tanah di wadah buatan manusia (bak mandi, ban bekas). Sebaliknya, target *Culex* sp. adalah air kotor dan tergenang yang kaya bahan organik, seperti selokan tersumbat, septic tank meluap, dan genangan air limbah.
5. Pendekatan "Plus" memberikan fleksibilitas. Di wilayah pesisir, "Plus" bisa berupa pemberian larvasida abate pada bak penampungan air hujan yang sulit dikuras. Di perkotaan padat, "Plus" bisa fokus pada pemasangan kawat kasa pada ventilasi dan larangan menggantung baju bekas pakai di dalam rumah.

b. Pilihan Ganda

1. C.
2. B.

3. C.
4. B.
5. B.
6. A.
7. C.
8. C.
9. C.
10. D

c. Studi Kasus / Proyek

1. Kerangka jawaban harus mencakup: 1) Strategi Komunikasi: Mengadakan pertemuan warga dengan data perbandingan efektivitas PSN vs *fogging* dan testimoni dari area yang berhasil. 2) Pemberdayaan Jumantik: Pelatihan ulang Jumantik sebagai "agen edukasi" bukan "inspektur", dan menginisiasi gerakan "Satu Rumah Satu Jumantik". 3) Sistem Insentif: Membuat papan skor ABJ per RT dan memberikan bendera "Bebas Jentik" atau penghargaan simbolis lainnya untuk memicu kompetisi positif.
2. Kerangka jawaban harus mencakup: 1) Modifikasi "Menutup": Mengkampanyekan penggunaan tutup wadah yang rapat dan murah (kain diikat, triplek) atau memasang kain kasa pada mulut drum. 2) Inovasi "Plus": Memperkenalkan penggunaan larvasida (misal: temefos/abate) sebagai solusi utama jika menguras tidak memungkinkan, dan memelihara ikan pemakan jentik di tempayan besar. 3) Komunikasi: Menekankan bahwa tindakan ini melindungi "air berharga" mereka dari kontaminasi penyakit, bukan menyuruh membuang air.

Kunci Jawaban BAB 11

a. Essay

1. Ikan: berkelanjutan, biaya operasional rendah, untuk TPA permanen. Bti: fleksibel, sangat aman, untuk semua TPA, tapi perlu aplikasi ulang. Pilihan tergantung analisis TPA: ikan untuk bak/kolam permanen, Bti untuk TPA kecil, temporer, atau yang kualitas airnya buruk.
2. Konservasi predator adalah strategi hulu yang menjaga stabilitas ekosistem, mengurangi ketergantungan pada intervensi hilir yang mahal (kimia/biologis). Mengintegrasikannya ke RPJMD memastikan pembangunan tidak merusak jasa ekosistem pengendali vektor, selaras dengan prinsip pembangunan berkelanjutan dan kesehatan lingkungan.
3. Kerangka: 1) Pemetaan TPA oleh kader. 2) Intervensi berbasis TPA: introduksi ikan cupang/guppy di bak mandi/drum, distribusi Bti granul

- untuk pot/dispenser. 3) Gerakan 3M Plus. 4) Edukasi: fungsi ikan sebagai "Jumantik alami" dan peran cecak sebagai "penjaga rumah".
4. Tantangan ekologis: ikan introduksi menjadi spesies invasif, memangsa fauna asli, dan mengganggu jaring makanan lokal. Tantangan sosial: penolakan masyarakat jika ikan dianggap hama atau tidak bernilai ekonomi. Mitigasi: gunakan spesies lokal jika memungkinkan, lakukan studi dampak lingkungan terbatas, dan libatkan masyarakat dalam perencanaan.
 5. Delta-endotoksin Bti aktif di usus basa larva Diptera, merusak sel epitel. Keunggulan: tidak membahayakan manusia, ikan, atau serangga lain. Keterbatasan: tidak membunuh pupa atau larva non-nyamuk, sehingga pada ekosistem kompleks, predator generalis seperti ikan mungkin lebih efektif menekan berbagai hama akuatik.

b. Pilihan Ganda

1. C.
2. B.
3. B.
4. C.
5. B.
6. C.
7. C.
8. D.
9. C.
10. C.

c. Studi Kasus / Proyek

1. Proposal harus mencakup: 1) Penguatan 3M Plus sebagai basis. 2) Program "Satu Rumah Satu Jumantik Ikan" untuk bak mandi/drum dengan ikan cupang/guppy. 3) Pembagian Bti bubuk/granul oleh kader untuk TPA kecil yang sulit dikuras. 4) Edukasi visual tentang siklus hidup nyamuk dan peran ganda ikan (hias & pengendali). 5) Lomba ABJ antar-RT untuk mendorong partisipasi.
2. Strategi: 1) Konservasi: identifikasi dan lindungi habitat predator alami (bakau untuk kepiting, perairan untuk larva capung). Buat larangan pestisida. 2) Modifikasi Lingkungan: desain lansekap resor yang minim genangan, sistem drainase yang baik. 3) Intervensi Biologis: aplikasi Bti secara selektif dan terjadwal pada titik-titik genangan yang tidak bisa dihilangkan. 4) Pelibatan Lokal: wawancara nelayan untuk mengidentifikasi predator lokal yang mereka kenal dan mengintegrasikan pengetahuan itu dalam program monitoring.

Kunci Jawaban BAB 12

a. Essay

1. Larvasiding PSN bersifat proaktif, menekan populasi dari sumber, berdampak jangka panjang namun lambat dan butuh partisipasi tinggi. Fogging bersifat reaktif, cepat memutus transmisi saat wabah, namun dampaknya sementara, tidak mengatasi jentik, dan berisiko resistensi. Keduanya perlu diintegrasikan.
2. IRS efektif untuk *Anopheles* karena vektor ini bersifat endofilik (hinggap di dinding dalam rumah). Lapisan residu insektisida membunuh nyamuk yang hinggap. Keberhasilan bergantung pada cakupan >80% rumah, kualitas semprotan, dan penerimaan masyarakat, sementara *fogging* tidak efektif menjangkau nyamuk yang bersembunyi.
3. Kerangka program harus spesifik lokasi. Untuk DBD di area perkotaan: intensifikasi PSN 3M Plus dengan larvasiding, dan *fogging* fokus hanya di area transmisi aktif. Untuk malaria di area rural: IRS atau distribusi LLIN sebagai prioritas, didukung larvasiding pada habitat *Anopheles* yang teridentifikasi.
4. *Fogging* menggunakan panas untuk menghasilkan asap tebal (partikel besar) dengan pelarut solar. ULV menggunakan tekanan untuk menghasilkan kabut halus (partikel kecil) tanpa pemanasan. ULV lebih efisien karena partikelnya melayang lebih lama dan penetrasinya lebih baik dengan volume insektisida lebih sedikit.
5. Argumen harus fokus pada: *fogging* hanya membunuh nyamuk dewasa yang terbang saat itu, memberikan ilusi masalah selesai. Padahal, jentik di ribuan kontainer air terus menjadi nyamuk baru. Ini mengalihkan perhatian dan sumber daya dari PSN dan larvasiding yang merupakan solusi akar masalah.

b. Pilihan Ganda

1. B.
2. C.
3. A.
4. D.
5. A.
6. B.
7. C.
8. A.
9. B.
10. D.

c. Studi Kasus / Proyek

1. Rencana harus mengombinasikan *fogging* fokus terbatas sebagai respons cepat untuk menenangkan warga dan memutus transmisi. Ini harus dikomunikasikan sebagai tindakan darurat, bukan solusi. Prioritas utama

adalah menggerakkan kembali PSN 3M Plus dengan pembagian larvasida (Abate) secara masif, didukung oleh edukasi agresif tentang pemberantasan sarang nyamuk sebagai solusi jangka panjang.

2. Prioritas utama adalah perlindungan individu dan komunitas. Rekomendasi: 1) Segera distribusikan LLIN ke semua pekerja dan penduduk desa (paling cepat dan efektif). 2) Lakukan IRS di semua hunian (kamp dan rumah) sebelum puncak musim transmisi. 3) Lakukan pemetaan dan larvasiding (kimia/biologis) pada habitat *Anopheles* yang produktif dan aksesibel di sekitar pemukiman.

Kunci Jawaban BAB 13

a. Essay

1. Tekanan seleksi tidak menciptakan gen resistensi, tetapi menyeleksi individu yang sudah memilikinya. Aplikasi insektisida membunuh yang rentan, menyisakan yang resisten untuk bereproduksi. Frekuensi gen resisten pun meningkat dalam populasi seiring waktu, sesuai prinsip seleksi alam.
2. Resistensi target-situs (mutasi kdr) mengubah target protein, sementara metabolik (enzim P450) mendetoksifikasi insektisida. Resistensi target-situs lebih sulit diatasi karena seringkali memengaruhi seluruh kelas insektisida. Keduanya bersinergi: mutasi kdr membuat nyamuk 'tahan banting', sementara enzim P450 membersihkan sisa insektisida.
3. Melanjutkan *fogging* tanpa data bioassay adalah pemborosan karena kemungkinan besar insektisida sudah tidak efektif akibat resistensi. Ini menciptakan rasa aman palsu, mengabaikan fakta bahwa vektor penular penyakit tidak terkendali, dan menunda penerapan strategi yang lebih efektif.
4. Hipotesis: Tekanan seleksi dari kelambu berinsektisida telah memicu kombinasi resistensi. Nyamuk mengembangkan resistensi target-situs (kdr) dan metabolik untuk bertahan dari kontak dengan kelambu, serta resistensi perilaku (pergeseran jam gigitan menjadi lebih awal atau gigitan di luar rumah) untuk menghindari kelambu sepenuhnya.
5. Argumen bantahan: Pernyataan itu keliru. Kegagalan seringkali bersifat biologis. Contohnya, populasi *Aedes* di Jakarta yang memiliki mutasi kdr (target-situs) dan peningkatan P450 (metabolik) akan tetap hidup meski *fogging* dilakukan dengan prosedur sempurna, karena secara genetik mereka mampu menoleransi dan mendetoksifikasi insektisida.

b. Pilihan Ganda

1. C
2. C
3. B

4. C
5. C
6. C
7. B
8. C
9. A
10. D

c. Studi Kasus / Proyek

1. Memo harus menjelaskan bahwa *fogging* gagal bukan karena kesalahan prosedur, tetapi karena nyamuk *Aedes aegypti* telah mengembangkan resistensi genetik yang tinggi terhadap piretroid, seperti yang dibuktikan oleh mortalitas 15% pada bioassay. Rekomendasi: (1) Segera hentikan penggunaan piretroid dan lakukan rotasi ke golongan insektisida lain (misal: organofosfat) yang terbukti masih efektif. (2) Perkuat program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) 3M Plus sebagai tulang punggung. (3) Lakukan bioassay secara rutin (setiap 6-12 bulan) untuk memantau status resistensi.
2. Kerangka proposal: Hipotesis utamanya adalah kegagalan disebabkan oleh kombinasi resistensi fisiologis dan perilaku pada *Anopheles*. Metode: (1) Lakukan *WHO tube test* dengan deltametrin dan insektisida kelas lain untuk mengukur resistensi fenotipik. (2) Lakukan analisis molekuler (PCR/sekuensing) untuk mendeteksi mutasi kdr (target-situs) dan uji biokimia untuk mengukur aktivitas enzim P450/Esterase (metabolik). (3) Lakukan studi perilaku dengan *human landing catches* (HLC) di dalam dan luar rumah pada jam-jam berbeda untuk mendeteksi perubahan preferensi gigitan (resistensi perilaku).

Kunci Jawaban BAB 14

a. Essay

1. Pendekatan ini gagal karena tidak berbasis bukti (dilakukan karena tekanan, bukan data), tidak terintegrasi (hanya satu metode), mengabaikan pengembangan kapasitas (tidak memberdayakan masyarakat), dan tidak berkelanjutan (menyebabkan resistensi, biaya tinggi, dan tidak menyentuh akar masalah yaitu sarang nyamuk).
2. Perbedaan ditentukan oleh biologi vektor. DBD (*Aedes*) di perkotaan/domestik, maka PSN 3M Plus (lingkungan) jadi primer. Malaria (*Anopheles*) di habitat alami luas, maka fokusnya memutus kontak dengan manusia via LLINs/IRS (perilaku vektor) karena modifikasi lingkungan tidak praktis.
3. Pengendalian vektor penting untuk menurunkan densitas nyamuk, sehingga mengurangi laju transmisi (vectorial capacity). Ini mempercepat

penurunan kasus, melindungi individu yang tidak patuh minum obat, dan mencegah re-introduksi penyakit setelah POPM dihentikan, sehingga memastikan keberlanjutan hasil eliminasi.

4. Kolaborasi dengan Dinas Pekerjaan Umum untuk modifikasi/pemeliharaan drainase di area pesisir guna mengurangi habitat *Anopheles*. Kolaborasi dengan Dinas Pertanian untuk mengatur jadwal irigasi sawah agar tidak menciptakan genangan air yang terus-menerus, yang menjadi tempat berkembang biak nyamuk.

5. 'Membasmi nyamuk' adalah tujuan absolut dan tidak realistis. 'Mengelola risiko' adalah tujuan strategis. Contoh: pada DBD, PSN tidak membasmi semua nyamuk tapi mengelola risiko dengan menekan populasi larva. Pada malaria, LLINs tidak membasmi nyamuk di alam tapi mengelola risiko gigitan infeksi.

b. Pilihan Ganda

1. B
2. C
3. D
4. A
5. C
6. D
7. A
8. D
9. C
10. B

c. Studi Kasus / Proyek

1. Rencana respons: (1) Respons Jangka Pendek: Lakukan Penyelidikan Epidemiologi (PE) dan *fogging* fokus hanya di sekitar rumah penderita, bukan massal. (2) Mobilisasi Sosial & Edukasi: Aktifkan kembali gerakan PSN 3M Plus secara serentak di seluruh kelurahan melalui kader dan tokoh masyarakat. (3) Penguatan Jangka Panjang: Bentuk tim Jumantik (Juru Pemantau Jentik) berbasis RT/RW untuk surveilans dan intervensi berkelanjutan.

2. Kerangka program: (1) Kolaborasi & Regulasi: Buat MoU dengan perusahaan untuk wajibkan skrining malaria bagi semua pekerja baru, sediakan klinik, dan danai program. (2) Intervensi Protektif: Distribusi massal LLINs untuk semua pekerja dan masyarakat desa sekitar. Lakukan IRS selektif di barak pekerja. (3) Surveilans Aktif & Lintas Sektor: Bangun sistem surveilans entomologi dan kasus, bekerja sama dengan Puskesmas setempat untuk deteksi dini dan respons cepat.

GLOSARIUM

- Artropoda:** Kelompok hewan invertebrata dengan kerangka luar (eksoskeleton) dan kaki bersegmen, seperti serangga, tungau, dan caplak, yang sering bertindak sebagai vektor penyakit.
- Inang:** Organisme hidup (manusia atau hewan) yang menjadi tempat tinggal dan sumber nutrisi bagi patogen, serta tempat patogen berkembang biak atau menyelesaikan siklus hidupnya.
- Maturasi:** Proses pematangan atau perkembangan patogen di dalam tubuh vektor sebelum patogen tersebut menjadi infeksius dan mampu menularkan penyakit.
- Multiplikasi:** Proses memperbanyak jumlah patogen di dalam tubuh vektor, yang merupakan bagian penting dari siklus hidup patogen tertentu.
- Patogen:** Agen biologis (seperti virus, bakteri, protozoa, atau cacing) yang dapat menyebabkan penyakit pada inang.
- Pengendalian Biologis:** Metode pengendalian vektor yang memanfaatkan musuh alami atau patogen spesifik untuk menekan populasi vektor.
- Pengendalian Lingkungan:** Strategi pengendalian vektor yang berfokus pada modifikasi habitat untuk menghilangkan atau mengurangi tempat perindukan vektor.
- Pengendalian Vektor:** Disiplin ilmu dan praktik kesehatan masyarakat yang bertujuan untuk menekan atau menghilangkan populasi vektor penyakit guna mencegah penularan patogen.
- Penyakit Tular Vektor:** Penyakit infeksi yang penularannya dari satu inang ke inang lain memerlukan perantara berupa organisme hidup yang disebut vektor.
- Siklus Penularan:** Rangkaian tahapan yang menggambarkan bagaimana agen penyakit ditransmisikan dari satu inang ke inang lain, seringkali melibatkan vektor sebagai perantara.
- Source Reduction:** Upaya pengurangan sumber atau habitat perindukan vektor, biasanya melalui modifikasi lingkungan.
- Tetrad Epidemiologi:** Kerangka epidemiologi yang diperluas dari trias epidemiologi, menambahkan komponen vektor sebagai elemen krusial dalam menjelaskan dinamika.
- Agen Penyakit:** Mikroorganisme seperti virus, bakteri, protozoa, atau cacing yang memiliki kemampuan untuk menyebabkan penyakit pada inang. Agen ini merupakan mata rantai pertama dan pemicu utama dalam sistem penularan penyakit.

Cara Penularan: Mekanisme atau jalur perpindahan agen penyakit dari reservoir ke inang yang rentan, yang dapat terjadi secara langsung atau tidak langsung, termasuk melalui vektor.

Infektivitas: Kemampuan agen penyakit untuk masuk, bertahan hidup, dan berkembang biak di dalam inang, yang menentukan seberapa mudah suatu agen dapat menyebabkan infeksi.

Inang yang Rentan: Individu yang belum memiliki kekebalan terhadap agen penyakit tertentu sehingga berisiko terinfeksi dan jatuh sakit, menjadi target akhir dalam rantai penularan.

Patogenisitas: Kemampuan agen penyakit untuk menyebabkan gejala atau manifestasi klinis penyakit pada inang yang terinfeksi, tidak semua infeksi berujung pada sakit.

Portal Keluar: Jalur keluarnya agen penyakit dari reservoir untuk dapat menulari inang lain, misalnya melalui gigitan vektor atau sekresi tubuh.

Portal Masuk: Jalur masuknya agen penyakit ke dalam tubuh inang yang rentan, seringkali melalui luka, membran mukosa, atau gigitan vektor.

Rantai Penularan Penyakit: Model konseptual dalam epidemiologi yang menggambarkan serangkaian tahapan yang harus dilalui oleh suatu agen penyakit untuk dapat berpindah dari satu inang ke inang lain. Model ini terdiri dari enam mata rantai yang saling terhubung.

Reservoir: Tempat alami di mana agen penyakit hidup, bertahan, dan bereplikasi, serta dari mana agen dapat ditularkan ke inang yang rentan, seperti manusia atau hewan.

Virulensi: Derajat keparahan penyakit yang disebabkan oleh agen penyakit pada inang yang terinfeksi, yang dapat bervariasi antar strain agen yang sama.

Diapause: Kemampuan telur nyamuk untuk bertahan dalam kondisi kering selama berbulan-bulan, merupakan adaptasi untuk menunggu kondisi lingkungan yang sesuai.

Fogging: Metode pengendalian vektor dewasa melalui pengasapan untuk membunuh nyamuk yang sudah terbang.

Hemimetabola: Tipe metamorfosis tidak sempurna pada serangga, di mana telur menetas menjadi nimfa yang menyerupai dewasa dan tumbuh melalui ganti kulit.

Holometabola: Tipe metamorfosis sempurna pada serangga, terdiri dari empat tahap yang sangat berbeda secara morfologi dan ekologi: telur, larva, pupa, dan dewasa.

Imago: Tahap dewasa pada serangga yang mengalami metamorfosis sempurna, merupakan bentuk reproduktif dan bersayap.

Integrated Vector Management (IVM): Pendekatan komprehensif dalam pengendalian vektor yang mengintegrasikan berbagai metode dan strategi, termasuk *source reduction*.

Jumantik (Juru Pemantau Jentik): Petugas atau relawan yang bertugas secara rutin memeriksa dan mengeliminasi sarang nyamuk, khususnya jentik.

Larva: Tahap

Antropofilik: Perilaku nyamuk yang memiliki preferensi tinggi untuk menggigit dan mencari makan pada manusia.

Arbovirus: Kelompok virus yang ditularkan kepada manusia atau hewan lain melalui gigitan artropoda, seperti nyamuk atau kutu.

Desikasi: Proses pengeringan atau kemampuan suatu organisme

Alergen: Zat yang dapat memicu reaksi alergi pada individu yang sensitif, seringkali berupa protein yang berasal dari organisme tertentu.

Enteric diseases: Penyakit-penyakit yang menyerang saluran pencernaan, umumnya disebabkan oleh patogen yang masuk melalui makanan atau air yang terkontaminasi.

Infestasi: Kehadiran atau invasi organisme hama dalam jumlah besar di suatu area atau pada inang, seringkali menyebabkan masalah kesehatan atau kerusakan.

Nokturnal: Perilaku organisme yang aktif pada malam hari dan beristirahat pada siang hari, sebagai adaptasi terhadap lingkungan atau predator.

Patogen: Mikroorganisme atau agen biologis lain yang dapat menyebabkan penyakit pada inang, seperti bakteri, virus, protozoa, atau jamur.

Probosis: Bagian mulut serangga yang memanjang, berfungsi khusus untuk menghisap atau menjilat makanan cair.

Pulvilli: Bantalan lengket yang ditemukan pada kaki serangga, membantu mereka

Angka Bebas Jentik (ABJ): Indikator keberhasilan program pengendalian vektor yang mengukur persentase rumah atau bangunan yang bebas dari jentik nyamuk.

Indeks ovitrap: Metode pemantauan yang menggunakan perangkap telur (ovitrap) untuk mengukur kepadatan populasi nyamuk betina yang bertelur.

Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN): Program pengendalian vektor yang berfokus pada eliminasi tempat perkembangbiakan nyamuk, terutama jentik.

Penyemprotan Insektisida Residu (IRS): Metode pengendalian vektor dengan menyemprotkan insektisida pada permukaan dinding bagian dalam rumah untuk membunuh nyamuk yang hinggap.

Resistensi insektisida: Kemampuan vektor untuk bertahan

Angka Bebas Jentik (ABJ): Persentase rumah yang tidak ditemukan jentik dari total rumah yang diperiksa, digunakan di Indonesia sebagai target operasional program pengendalian Demam Berdarah Dengue (DBD).

Breteau Index (BI): Jumlah kontainer positif jentik per 100 rumah yang diperiksa, dianggap indikator paling representatif karena mengombinasikan sebaran dan kepadatan tempat perindukan.

Container Index (CI): Persentase wadah atau kontainer air yang ditemukan jentik dari total kontainer yang diperiksa, memberikan gambaran tentang produktivitas jenis kontainer sebagai tempat perindukan.

Demam Berdarah Dengue (DBD): Penyakit yang ditularkan oleh nyamuk *Aedes aegypti*, menjadi fokus utama program pengendalian vektor di Indonesia.

House Index (HI): Persentase rumah yang ditemukan jentik nyamuk dari total rumah yang diperiksa di suatu wilayah, mengukur sebaran keberadaan vektor di tingkat rumah tangga.

Jentik: Tahap larva nyamuk, yang keberadaannya menjadi fokus utama dalam survei dan perhitungan indeks entomologi berbasis larva.

Ovitrap: Alat sederhana berupa wadah berisi air dan papan kayu yang digunakan untuk menarik nyamuk betina bertelur, berfungsi sebagai perangkap telur.

Ovitrap Index (OI): Persentase ovitrap yang positif ditemukan telur nyamuk dari total ovitrap yang dipasang, berfungsi sebagai indikator proksi aktivitas oviposisi nyamuk dewasa.

Oviposisi: Proses peletakan telur oleh nyamuk betina, yang aktivitasnya dapat dipantau menggunakan ovitrap.

Sanitarian: Profesi yang kompeten dalam pemahaman mendalam mengenai perbedaan, kelebihan, dan kekurangan setiap indeks entomologi untuk pengendalian vektor.

Source reduction: Kegiatan pemberantasan sarang nyamuk yang bertujuan mengurangi atau menghilangkan tempat perindukan vektor.

Surveilans vektor: Proses pengumpulan, analisis, dan interpretasi data secara sistematis mengenai populasi vektor untuk perencanaan dan evaluasi program pengendalian.

Vektor: Organisme hidup yang menularkan agen penyakit infeksius dari hewan atau individu yang terinfeksi ke hewan atau individu lain.

Angka Bebas Jentik (ABJ): Indikator kepadatan jentik nyamuk yang digunakan dalam surveilans entomologi, menunjukkan persentase rumah atau bangunan yang bebas dari jentik.

Analisis deret waktu (*time-series analysis*): Teknik statistik yang digunakan untuk menganalisis data yang dikumpulkan

Analisis risiko: Pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mengelola ketidakpastian yang dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia. Dalam konteks pengendalian vektor, ini adalah proses proaktif untuk mengantisipasi dan memitigasi potensi penularan penyakit.

Bahaya (*Hazard*): Sumber potensi kerusakan atau efek kesehatan yang merugikan, seperti keberadaan vektor, agen penyakit, atau kondisi lingkungan yang mendukung perkembangbiakan vektor.

Curah Hujan: Salah satu variabel lingkungan kritis yang memengaruhi siklus hidup vektor, terutama nyamuk, dengan pola intensitas dan durasi yang menentukan ketersediaan tempat perindukan.

Identifikasi Bahaya (*Hazard Identification*): Tahap pertama dalam analisis risiko yang bertujuan untuk menentukan agen biologis, kimia, atau fisik yang berpotensi menyebabkan efek merugikan di suatu wilayah.

Kerentanan (*Vulnerability*): Tingkat di mana sebuah populasi atau sistem rentan terhadap efek merugikan dari suatu bahaya, dipengaruhi oleh faktor seperti kepadatan penduduk, status gizi, dan akses layanan kesehatan.

Komunikasi Risiko (*Risk Communication*): Pertukaran informasi dan opini interaktif antara penilai risiko, manajer risiko, dan pemangku kepentingan lainnya untuk memastikan pemahaman dan partisipasi dalam mitigasi risiko.

3M Plus: Program nasional pencegahan Demam Berdarah Dengue (DBD) di Indonesia yang mencakup tindakan Menguras, Menutup, dan Mendaur ulang tempat penampungan air, ditambah upaya pencegahan lain yang disesuaikan.

***Aedes aegypti*:** Spesies nyamuk utama yang menjadi vektor penular penyakit Demam

***Augmentative biological control*:** Strategi pengendalian biologis yang melibatkan introduksi agen pengendali biologis secara sengaja ke dalam ekosistem untuk menekan populasi hama.

Adultisida: Insektisida yang dirancang untuk membunuh vektor pada stadium dewasa, umumnya diaplikasikan secara reaktif untuk memutus rantai penularan penyakit.

Bio-larvasida: Larvasida yang lebih ramah lingkungan, memanfaatkan bahan alami seperti ekstrak tumbuhan atau bakteri *Bacillus thuringiensis israelensis* untuk

Asetilkolinesterase (AChE): Enzim penting dalam sistem saraf serangga yang menjadi target insektisida organofosfat dan karbamat; mutasi pada enzim ini dapat menyebabkan resistensi.

Bioassay: Metode pengujian biologis standar untuk mendeteksi dan mengukur status resistensi populasi vektor terhadap

Fase Pra-dewasa (Jentik): Tahap perkembangan awal serangga vektor, seperti nyamuk, yang hidup di air sebelum menjadi dewasa, seringkali menjadi target utama dalam pengendalian lingkungan.

Indoor Residual Spraying (IRS): Metode pengendalian kimiawi vektor dengan menyemprotkan insektisida pada permukaan

INDEKS

*Aedes aegypti** 15, 86
agen penyakit 15
Analisis risiko penyakit tular vektor 116
Analisis terpadu data entomologi 100
angka bebas jentik (ABJ) 86
Biologi dan perilaku vektor 29
breteau index (BI) 86
cara penularan 15
container index (CI) 86
demam berdarah dengue 15
demam berdarah dengue (DBD) 86
densitas tempat perindukan 86
epidemiolog 86
epidemiologi 15
house index (HI) 86
Identifikasi vektor non-nyamuk 57
Identifikasi vektor nyamuk 44
inang yang rentan 15
infektivitas 15
Integrated vector management dan program pengendalian 192
Konsep dasar penyakit tular vektor 1
malaria 15
patogenesis 15
Pengendalian kimia 160
Pengendalian lingkungan 131
Pengendalian non-kimia 145
*Plasmodium falciparum** 15
portal keluar 15
portal masuk 15
PSN 15
rantai penularan penyakit 15
reservoir 15
Resistensi insektisida 176
strategi pengendalian 15
Surveilans entomologi 70
Tanjung (2023) 15
vaksinasi Dengue 15

vektor biologis 15
virulensi 15
virus Dengue 15
virus Zika 15

TENTANG PENULIS



Prof. Dr. Dra. Maria Kanan, M.Kes lahir di Tana Toraja, 18 Oktober 1967. Merupakan anak ke-empat dari tujuh bersaudara dari pasangan Bapak Paulus Pasang Kanan (Alm) dan ibu Fransiska S. Ronting. Tahun 1993 penulis menikah dengan Bapak Edywardus Sakka', SE. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di Jurusan Biologi (peminatan Mikrobiologi) pada Fak. MIPA Universitas Hasanuddin (UNHAS) Makassar Tahun 1992, menyelesaikan studi S2 di Program Studi Ilmu Kedokteran Dasar (peminatan Mikrobiologi) di Universitas Padjadjaran (UNPAD) Bandung Tahun 2002. Tahun 2015 melanjutkan studi S3 di Program Studi Entomologi (Entomologi Kesehatan) pada Program Pascasarjana Universitas Sam Ratulangi (UNSRAT) Manado, selesai Tahun 2018. Tahun 1993-2004, penulis bekerja sebagai Dosen pada Program Studi Pendidikan Biologi Jurusan PMIPA FKIP Universitas Tadulako (UNTAD) Palu. Tahun 2005-2010 bekerja sebagai Dosen pada Jurusan Biologi Fak. MIPA UNTAD Palu. Tahun 2010 - sekarang sebagai Dosen DPK pada Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Tompotika Luwuk. Penulis pernah menjabat sebagai Kepala Bidang Akademik, Wakil Dekan I Bidang Akademik, dan sekarang menjabat sebagai Dekan FKM Untika Luwuk (Periode 2025-2029). Penulis mengasuh mata kuliah Biomedik I (Biologi, Biokimia, Mikrobiologi dan Parasitologi), Biomedik II (Anatomi, Fisiologi, dan Patologi), Analisis Kualitas Lingkungan dan Pengendalian Vektor Penyakit. Selain itu, penulis juga aktif dalam menulis jurnal, buku ajar, dan buku referensi.



Dr. Bambang Dwicahya, SKM, M.Kes

Penulis di lahirkan di Luwuk pada tanggal 05 April 1990 Ketertarikan penulis terhadap ilmu Kesehatan lingkungan dimulai pada tahun 2013 silam. Hal tersebut membuat penulis memilih untuk masuk ke Program Studi S2 Kesehatan Masyarakat Departemen Kesehatan Lingkungan dan berhasil lulus pada tahun 2015. Tahun 2021, Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke Program Studi S3 dan berhasil menyelesaikan studi di UNHAS pada tahun 2024. Saat ini penulis bekerja sebagai dosen tetap di Program Studi S1 Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas

Tompotika Luwuk. Penulis pernah menjabat sebagai Kepala Laboratorium FKM Untika Luwuk, Ketua Lembaga Unit Penjaminan Mutu FKM Untika Luwuk, dan sekarang menjabat sebagai Kepala Bidang pada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat di Universitas Tompotika Luwuk. Penulis juga aktif dalam kegiatan ilmiah dan organisasi keprofesian yaitu Relawan Jurnal Indonesia, IAKMI, PERSAKMI dan PEKI. Sehari-harinya bekerja sebagai dosen pengampu mata kuliah pada Peminatan Kesehatan Lingkungan. Selain itu penulis juga aktif dalam menulis jurnal serta aktif menulis buku referensi, buku ajar, buku monograf dan *book chapter*. Sekarang penulis memiliki jabatan akademik Lektor Kepala.

Email Penulis: bambangdwicahya@gmail.com



Dr. Sandy Novryanto Sakati, SKM., M.Kes

Penulis dilahirkan di Luwuk Kabupaten Banggai pada tanggal 03 November 1988. Ketertarikan penulis terhadap ilmu kesehatan lingkungan. Telah menyelesaikan Pendidikan pada program studi strata satu Ilmu Kesehatan Masyarakat Peminatan Kesehatan Lingkungan di Perguruan Tinggi Universitas Tompotika Luwuk (2007-2011) kemudian melanjutkan program strata dua Ilmu Kesehatan Masyarakat Peminatan Kesehatan Lingkungan di Universitas Sam Ratulangi Manado (2013-2015) kemudian menyelesaikan program doktor Ilmu Kesehatan Masyarakat di Universitas Hasanuddin Makassar (2021-2025). Penulis pernah menjabat sebagai Kepala Labkesdas FKM Untika Luwuk, dan sekarang menjabat sebagai sekretaris Program Studi S1 pada FKM Untika Luwuk. Penulis juga aktif dalam kegiatan ilmiah dan organisasi keprofesian yaitu IAKMI, HAKLI, PERSAKMI. Sehari-harinya bekerja sebagai dosen pengampu mata kuliah Dasar Kesehatan Lingkungan, Penyediaan air bersih, Pencemaran Lingkungan, Analisis Kualitas Lingkungan, Pengukuran Kualitas Lingkungan, Pengelolaan Limbah Padat, Ciri dan Gas, Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan. Selain itu penulis juga aktif dalam menulis jurnal serta aktif menulis buku ajar dan *book chapter*.

Email Penulis : Sandy_novryanto@yahoo.co.id

PENGENDALIAN VEKTOR

AGEN PENYAKIT

ISBN 978-634-239-497-7



9

786342

394977