



Editor:

Aditya Lia Ramadona

Siwi Pramata Mars Wijayanti

Dinamika Penyakit Tular Vektor Nyamuk di Indonesia

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dinamika Penyakit Tular Vektor Nyamuk di Indonesia



Buku ini tidak diperjualbelikan.

Diterbitkan pertama pada 2024 oleh Penerbit BRIN

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



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

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

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

Editor:

Aditya Lia Ramadona

Siwi Pramutama Mars Wijayanti



Dinamika Penyakit Tular Vektor Nyamuk di Indonesia

Penerbit BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2024 Editor dan Penulis

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Dinamika Penyakit Tular Vektor Nyamuk di Indonesia/Aditya Lia Ramadona & Siwi Pramata Mars Wijayanti (Ed.) –Jakarta: Penerbit BRIN, 2024.

xix + 260 hlm.; 14,8 × 21 cm

ISBN 978-602-6303-59-2 (*e-book*)

1. Nyamuk

3. *Aedes* sp.

2. Penyakit Tular Vektor

4. Demam Berdarah

614.5

Editor Akuisisi & Pendamping : Mayasuri Presilla

Copy editor : Sarah Fairuz

Proofreader : Mulyani dan Martinus Helmiawan

Penata isi : Meita Safitri

Desainer sampul : Meita Safitri

Terbitan pertama : Desember 2024



Diterbitkan oleh:

Penerbit BRIN, Anggota Ikapi

Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah

Gedung B.J. Habibie, Jl. M.H. Thamrin No. 8,


Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,

Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340

Whatsapp: +62 811-1064-6770

E-mail: penerbit@brin.go.id

Website: penerbit.brin.go.id

 PenerbitBRIN

 Penerbit_BRIN

 [penerbit.brin](https://www.instagram.com/penerbit.brin)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Daftar Isi

Daftar Gambar.....	vii
Daftar Tabel.....	xi
Pengantar Penerbit.....	xiii
Kata Pengantar	xv
Prakata	xvii
Ucapan Terima Kasih.....	xix
BAB 1 Penyakit Tular Vektor Nyamuk dan Tantangan Pengendaliannya	1
Siwi Pramatama Mars Wijayanti	
BAB 2 Pengendalian Penyakit Tular Vektor Nyamuk Terkini.....	19
Riyani Setiyaningsih, Triwibowo Ambar Garjito, dan Anis Nur Widayati	
BAB 3 Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (Analisis Spasial) dalam Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Tular Vektor Nyamuk.....	55
Sunaryo dan Mujiyanto	
BAB 4 Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis dalam Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Malaria dan Demam Berdarah Dengue	89
Dwi Sarwani Sri Rejeki	

BAB 5	Potensi Penggunaan Gelombang Ultrasonik Jangkrik bagi Nyamuk Tular Vektor	125
	Sama' Iradat Tito dan Leny Ardini Arianti	
BBAB 6	Peran dan Edukasi Masyarakat dalam Mencegah Penyakit yang Ditularkan Nyamuk.....	165
	Annisa Utami Rauf, Ratna Dwi Puji Astuti, dan Lusha Ayu Astari	
BAB 7	Epilog.....	207
	Aditya Lia Ramadona	
	Daftar Singkatan.....	223
	Glosarium.....	227
	Tentang Editor.....	239
	Tentang Penulis	243
	Indeks	255

Daftar Gambar

Gambar 1.1	Siklus Hidup Nyamuk	4
Gambar 1.2	Distribusi Geografis Sebaran Penyakit DBD	9
Gambar 2.1	Proses Perkawinan Nyamuk <i>Aedes Aegypti</i> Berwolbachia dengan yang tidak Berwolbachia.	34
Gambar 2.2	Morfologi Telur <i>Ae. Aegypti</i> Hasil Perkawinan Jantan Steril dengan Betina Normal di Lapangan yang Mengempis.....	37
Gambar 2.3	Variasi Morfologi Telur <i>Ae. Aegypti</i> Hasil Perkawinan Jantan Steril dengan Betina Normal di Lapangan yang Bercabang (Rusak).....	37
Gambar 3.2	Peta Wilayah Berisiko DBD di Kabupaten Banjarnegara Tahun 2019	74
Gambar 3.3	Peta Sebaran Demam Berdarah Dengue Berseri di Kabupaten Banjarnegara Tahun 2017–2019	75
Gambar 3.4	Peta Stratifikasi <i>Incidence Rate</i> DBD Kabupaten Banjarnegara Tahun 2019	76
Gambar 3.5	Pemetaan Sebaran Survei Jentik Menggunakan Citra Google Earth.....	78

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Gambar 3.6	Peta Sebaran DBD Kab. Banjarnegara Tahun 2017–2019.....	79
Gambar 3.7	Peta Sebaran Kasus DBD Dekat Aliran Sungai di Wilayah Kabupaten Banjarnegara	80
Gambar 3.8	Jarak antara Fasilitas Pelayanan Kesehatan (Rumah Sakit) dan Sebaran Kasus DBD di Kabupaten Banjarnegara.....	81
Gambar 3.9	Contoh Peta Kerawanan DBD Menggunakan Pemodelan Fuzzy.....	85
Gambar 4.2	Endemisitas Malaria Per Desa di Ekosistem Menoreh Tahun 2005–2015	100
Gambar 4.1	Kerangka Kerja Geospasial untuk Eliminasi Malaria	100
Gambar 4.3	<i>Annual Spatial</i> Malaria yang Terdeteksi dari Tahun 2005–2015 di Ekosistem Menoreh	105
Gambar 4.4	Lokasi yang terdeteksi <i>cluster</i> malaria dengan analisis <i>space-time</i> tahun 2005–2015 didominasi Kabupaten Purworejo.....	108
Gambar 4.5	Peta 3D cluster malaria dengan analisis <i>space-time</i> tahun 2005–2015 menunjukkan wilayah ekosistem Menoreh berisiko malaria.	109
Gambar 4.6	Sebaran Kasus DBD di Kabupaten Banyumas Tahun 2018.....	111
Gambar 4.7	Luas Sebaran Kasus DBD di Kabupaten Banyumas Tahun 2018	112
Gambar 4.8	Peta <i>Overlay</i> Kasus DBD dengan Curah Hujan di Kabupaten Banyumas Tahun 2018.....	113
Gambar 4.9	Peta <i>Buffering</i> Kasus DBD dengan Fasilitas Kesehatan yang Ada di Kabupaten Banyumas Tahun 2018.....	114
Gambar 4.10	Peta <i>Buffering</i> Kasus DBD dengan Sungai yang Ada di Kabupaten Banyumas Tahun 2018.....	115
Gambar 4.11	Peta <i>Overlay</i> Kasus DBD terhadap Kepadatan Penduduk di Kabupaten Banyumas Tahun 2018.....	116
Gambar 4.12	Peta <i>Overlay</i> Kasus DBD terhadap Pemanfaatan Lahan di Kabupaten Banyumas Tahun 2018.....	117

Gambar 4.13	Peta <i>Overlay</i> Kasus DBD terhadap Jenis Batuan di Kabupaten Banyumas Tahun 2018.....	118
Gambar 4.14	Hasil Analisis <i>Clustering</i> Kasus DBD di Kabupaten Banyumas Tahun 2018	119
Gambar 5.1	Pemanfaatan Gelombang Ultrasonik dalam Mengusir Hama	127
Gambar 5.2	Perbedaan Siklus Hidup <i>Anopheles</i> dan <i>Culicinae</i>	129
Gambar 5.3	Ciri-Ciri dan Perbedaan Nyamuk Dewasa Jantan dan Betina.....	130
Gambar 5.4	Distribusi Nyamuk <i>Aedes</i> sp. Berdasarkan Ketinggiannya di Sumatera Selatan.....	135
Gambar 5.5	Gelombang ultrasonik datang secara normal pada bidang batas medium 1 dan medium 2	139
Gambar 5.6	Ketergantungan Frekuensi Pendengaran Berbagai-macam Binatang.....	141
Gambar 5.7	Gambar Peta Titik Sampel Penelitian.....	146
Gambar 5.8	Grafik Hubungan Persen Kematian terhadap Frekuensi Gelombang Ultrasonik.....	150
Gambar 5.9	Kepekaan Larva dan Pupa Nyamuk	152
Gambar 6.1	Keterkaitan Vektor Nyamuk dengan Manusia, Hewan, dan Lingkungan.....	168
Gambar 6.2	Poster Perayaan Dua Tahun Berlangsungnya Kampanye <i>Zero Malaria Starts with Me</i> Tahun 2020	177
Gambar 6.3	Sampul E-book dari Buku <i>A Filariasis-Free Me</i> oleh WHO	178
Gambar 6.4	Kegiatan Jumat Bersih yang Dirangkaikan dengan Gotong-royong Pembersihan Lingkungan oleh Perangkat Desa dan Masyarakat.....	189

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Daftar Tabel

Tabel 1.1	Penyakit Tular Vektor Nyamuk dan Jenis Nyamuk yang Menularkannya	2
Tabel 3.1	Data Kasus DBD dan Peta Populasi dalam SIG DBD.....	70
Tabel 3.2	Output GIS DBD Terstandarisasi dan Perannya dalam Mendukung Pengambilan Keputusan Penanggulangan DBD.....	72
Tabel 4.1	Insiden Malaria dan Global <i>Spatial Autocorelation</i> di Ekosistem Perbukitan Menoreh	101
Tabel 4.2	<i>Cluster</i> Malaria yang Terdeteksi dengan <i>Purely Spatial Clustering</i>	103
Tabel 4.3	<i>Cluster</i> Malaria yang Terdeteksi dengan <i>Purely Temporal Clustering</i> di Ekosistem Menoreh Tahun 2005–2015.....	106
Tabel 4.4	<i>Cluster</i> Malaria yang Teridentifikasi Menggunakan <i>Space Time Clustering</i> Tahun 2005–2015 di Ekosistem Perbukitan Menoreh	107
Tabel 5.1	Jumlah Gigitan Sebelum dan Sesudah Pemasangan Jangkrik di Lingkungan Kampus Institut Pertanian Malang (IPM)	145

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tabel 5.2 Jumlah Rata-Rata Gigitan Nyamuk 147

Tabel 5.3 Hasil Uji Mean Dua Populasi 148

Tabel 6.1 Studi Intervensi dan Pencegahan Penyakit Akibat Vektor
Nyamuk yang Melibatkan Komunitas 182

Pengantar Penerbit

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

Penyakit tular vektor nyamuk sampai saat ini masih menjadi permasalahan kesehatan penting di Indonesia. Iklim tropis yang kondusif untuk perkembangbiakan nyamuk menyebabkan sulitnya pengendalian permasalahan penyakit tular vektor nyamuk ini. Beberapa aspek yang dibahas, meliputi epidemiologi, perkembangan pengendalian vektor nyamuk terkini, pemanfaatan sistem informasi geografis, potensi gelombang ultrasonik jangkrik dalam pencegahan vektor nyamuk, serta peran dan keterlibatan masyarakat dalam upaya bersama menangani permasalahan ini.

Buku *Dinamika Penyakit Tular Vektor Nyamuk di Indonesia* hadir untuk membuka, menginformasikan, dan memberikan wawasan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

masyarakat mengenai penyakit tular vektor nyamuk, seperti Demam Berdarah Dengue, Malaria, dan Chikungunya. Buku ini juga diharapkan dapat menambah khazanah referensi terkait vektor penyakit terutama nyamuk di Indonesia. Melalui diseminasi informasi yang meluas, semoga buku ini dapat memberikan banyak manfaat bagi upaya bersama dalam pencegahan dan pengendalian penyakit tular vektor di Indonesia.

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

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Kata Pengantar

Penyakit tular vektor nyamuk merupakan penyakit yang ditularkan melalui gigitan nyamuk yang terinfeksi oleh patogen, seperti virus, bakteri, atau parasit. Dalam bidang kesehatan, istilah ‘vektor’ pada spektrum luas mengacu pada organisme apapun yang dapat menularkan penyakit menular kepada manusia dan organisme hidup lainnya. Sebagian besar vektor merupakan serangga dari filum Arthropoda, dengan nyamuk memainkan peranan penting dalam menularkan banyak penyakit. Keberadaan nyamuk tersebar luas di seluruh dunia, termasuk di Indonesia, dengan perkiraan 3.500 spesies dari 34 spesies genera. Beberapa nyamuk yang menjadi vektor utama penyakit di Indonesia, antara lain *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus* sebagai penular virus dengue, chikungunya, dan zika, sedangkan nyamuk *Anopheles* yang mampu menularkan parasit *Plasmodium* penyebab malaria, serta berbagai spesies nyamuk dari genus *Culex*, *Anopheles*, *Aedes*, dan *Mansonia* yang mampu menularkan cacing filaria.

Penyakit tular vektor nyamuk ini masih menjadi permasalahan kesehatan penting di Indonesia, berdampak tidak hanya pada kese-

hatan masyarakat, tetapi juga pada aspek sosial dan ekonomi. Berbagai upaya telah dilakukan dalam pencegahan dan pengendalian penyakit vektor nyamuk, mulai dari pengendalian biologis, mekanik, fisik, hingga kimiawi. Inovasi terbaru, seperti teknik serangga mandul (TSM) dan penerapan bakteri *Wolbachia* juga sedang dicoba. Namun, tantangan seperti resistansi insektisida, perubahan iklim, urbanisasi, dan perubahan perilaku manusia terus memengaruhi efektivitas upaya pengendalian ini.

Buku *Dinamika Penyakit Tular Vektor Nyamuk di Indonesia* ini disusun untuk memberikan wawasan komprehensif tentang dinamika penularan penyakit vektor nyamuk dan tantangan pengendaliannya. Meskipun belum menawarkan solusi praktis yang menyeluruh, kami yakin bahwa pemahaman mendalam tentang vektor nyamuk dan dinamika penularannya merupakan langkah awal yang krusial dalam pengembangan strategi pengendalian yang efektif. Kami berharap buku ini dapat menjadi sumber informasi yang berharga bagi para peneliti, praktisi kesehatan, pembuat kebijakan, dan masyarakat umum yang tertarik dalam upaya pencegahan dan pengendalian penyakit tular vektor nyamuk. Semoga dengan hadirnya buku ini, kita dapat bersama-sama mengambil langkah yang lebih tepat, terarah, dan efektif dalam mengatasi tantangan penyakit tular vektor nyamuk di Indonesia.

Prof. dr. Tri Baskoro Tunggal Satoto, M.Sc., Ph.D.
Guru Besar Ilmu Parasitologi FKMK UGM

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Prakata

Alhamdulillah, puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan atas terselesainya buku bunga rampai *Dinamika Penyakit Tular Vektor Nyamuk di Indonesia*. Buku bunga rampai ini ditulis dengan harapan dapat memberikan gambaran dinamika penyakit yang ditularkan oleh vektor nyamuk, seperti Demam Berdarah Dengue, Malaria, dan Chikungunya. Penyakit tular vektor nyamuk tersebut sampai saat ini masih menjadi permasalahan kesehatan penting di Indonesia. Iklim tropis yang kondusif untuk perkembangbiakan nyamuk menyebabkan sulitnya pengendalian permasalahan penyakit tular vektor nyamuk ini. Beberapa aspek yang dibahas meliputi epidemiologi, perkembangan pengendalian vektor nyamuk terkini, pemanfaatan sistem informasi geografis, potensi gelombang ultrasonik jangkrik dalam pencegahan vektor nyamuk, serta peran dan keterlibatan masyarakat dalam upaya bersama menangani permasalahan ini. Buku ini melibatkan beberapa penulis yang andal di bidangnya sehingga memperkaya isi naskah buku dengan hasil-hasil penelitian terkini.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Kami sebagai editor mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian buku ini. Harapan kami buku bunga rampai ini dapat menambah khazanah referensi terkait vektor penyakit terutama nyamuk di Indonesia. Diseminasi informasi yang meluas, semoga dapat memberikan banyak manfaat bagi upaya bersama dalam pencegahan dan pengendalian penyakit tular vektor di Indonesia.

Editor

Aditya Lia Ramadana, S.Si., M.Sc, Ph.D.
Siwi Pramatama Mars Wijayanti, S.Si., M.Kes.,Ph.D.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada BRIN dan Direktorat Repositori Multimedia dan Penerbitan Ilmiah yang telah memberikan dorongan dan kesempatan kepada penulis untuk ikut berpartisipasi dalam kegiatan penulisan Buku Bunga Rampai. Penyakit tular vektor nyamuk menjadi isu yang menjadi perhatian bagi berbagai pihak terutama pemerintah. Mengingat banyaknya kasus yang terjadi akibat vektor nyamuk di berbagai negara, termasuk Indonesia. Tidak lupa, penulis mengucapkan terima kasih kepada civitas akademik FMIPA Universitas Islam Malang sebagai tempat kami dalam pengembangan ilmu pengetahuan saat ini dan juga atas dukungan yang baik terhadap penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Buku Bunga Rampai Penyakit tular vektor nyamuk ini. Dengan tulisan ini, penulis berharap dapat menyajikan sumber informasi bagi seluruh masyarakat terkait penyakit tular vektor. Tulisan ini memberikan informasi terkait evaluasi program pencegahan dan pengendalian penyakit tular vektor nyamuk yang bermanfaat bagi masyarakat dan dapat menjadi pertimbangan untuk solusi kedepannya.

Penulis

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB 1

Penyakit Tular Vektor Nyamuk dan Tantangan Pengendaliannya

Siwi Prammatama Mars Wijayanti

A. Sekilas tentang Penyakit Tular Vektor Nyamuk

Penyakit tular vektor nyamuk merupakan penyakit yang ditularkan melalui gigitan nyamuk yang terinfeksi oleh patogen, seperti virus, bakteri, atau parasit. Dalam bidang kesehatan, istilah “vektor” pada spektrum luas mengacu pada organisme apapun yang dapat menularkan penyakit menular kepada manusia dan organisme hidup lainnya. Sebagian besar vektor merupakan serangga dari filum Arthropoda. Beberapa vektor penting adalah nyamuk, lalat pasir, kutu, simulium, dan kutu triatomine (Hawkes & Hopkins, 2022). Di antara serangga vektor ini, nyamuk memainkan peranan penting dalam menularkan banyak penyakit. Nyamuk berfungsi sebagai vektor, yang berarti mereka membawa patogen dari satu inang/*host* ke inang lainnya (Manikandan et al., 2023).

S. P. M. Wijayanti

Universitas Jenderal Soedirman, *e-mail*: siwi.wijayanti@unsoed.ac.id

©2024 Editor & Penulis

Wijayanti, S. P. M. (2024). Penyakit tular vektor nyamuk dan tantangan pengendaliannya. Dalam S. P. M. Wijayanti & A. L. Ramadona (Ed.), *Dinamika penyakit tular vektor nyamuk di Indonesia* (1–17).

Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.1589.c1271 E-ISBN: 978-602-6303-59-2

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Keberadaan nyamuk tersebar luas di seluruh dunia, termasuk di Indonesia, dengan perkiraan 3.500 spesies dari 34 spesies genera. Beberapa nyamuk yang menjadi vektor penyakit di antaranya adalah *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus* yang menyebabkan penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD) dan Chikungunya, 19 nyamuk dari genus *Anopheles* penyebab penyakit Malaria, 27 nyamuk dari genus *Culex*, *Anopheles*, *Aedes*, dan *Mansonia* penyebab penyakit Filariasis (Khariri, 2018). Penyakit tular vektor nyamuk dan jenis nyamuk yang menularkannya dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Penyakit Tular Vektor Nyamuk dan Jenis Nyamuk yang Menularkannya

Penyakit yang Ditularkan	Patogen	Jenis Vektor Nyamuk
Malaria	<i>Plasmodium falciparum</i> , <i>P. Malariae</i> , <i>P. Ovale</i> , dan <i>P. vivax</i>	<i>Anopheles</i> spp. <i>Culex</i> spp.
Dengue	Dengue virus serotipe DEN-1, DEN-2, DEN-3, DEN4, dan DEN5	<i>Aedes aegypti</i> <i>Aedes albopictus</i>
Chikungunya	Chikungunya virus (CHIKV)	<i>Aedes aegypti</i> <i>Aedes albopictus</i>
Yellow fever	Yellow fever virus	<i>Aedes</i> spp. <i>Haemagogus</i> spp. <i>Sabethes</i> spp.
Filariasis	<i>Wuchereria bancrofti</i> <i>Brugia malayi</i> <i>Brugia timori</i>	<i>Cules</i> spp., <i>Aedes</i> spp. (Asia-Pasifik), <i>Anopheles</i> spp. (Amerika), <i>Ochlerotatus</i> spp.
Japanese encephalitis	Japanese encephalitis virus	<i>Cules</i> spp., <i>Mansonia</i> spp., <i>Aedes curtipes</i> , <i>Anopheles</i> spp.

Zika	Zika virus	<i>Aedes aegypti</i> <i>Aedes albopictus</i>
------	------------	---

Sumber: Baxter et al. (2017)

B. Bionomik dan Distribusi Geografis Nyamuk

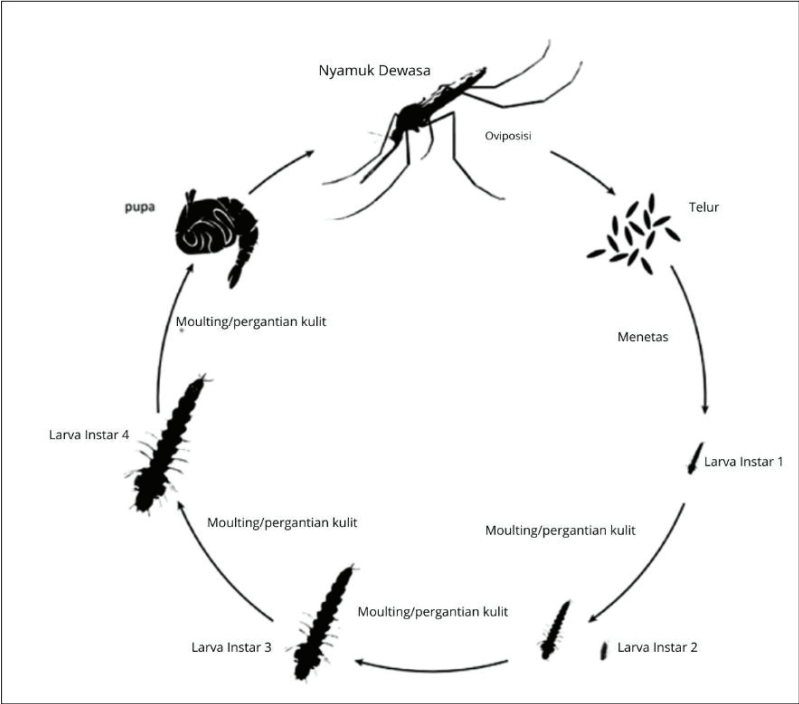
Nyamuk merupakan salah satu makhluk yang paling banyak dipelajari di planet ini karena perannya dalam penularan penyakit. Ada lebih dari 3.500 spesies nyamuk di bumi dan mereka ditemukan di setiap benua kecuali Antartika (Hawkes & Hopkins, 2022). Anggota genus *Anopheles*, *Culex*, dan *Aedes* teridentifikasi dapat menggigit manusia. Berikut beberapa karakteristik nyamuk yang mencakup siklus hidup, kebiasaan menggigit, perilaku istirahat, dan kemampuan jarak terbang.

1. Siklus Hidup

Nyamuk merupakan serangga dengan tipe Holometabola atau mempunyai metamorfosis sempurna. Metamorfosis sempurna tersebut mencakup empat tahapan perkembangan, yakni telur, larva, pupa, dan dewasa (imago). Siklus hidup nyamuk mengikuti pola holometabola, yaitu metamorfosis sempurna yang mencakup empat tahap: telur, larva, pupa, dan dewasa (imago). Nyamuk betina bertelur di permukaan air atau di tempat-tempat yang akan terendam air. Beberapa spesies, seperti *Aedes aegypti*, bertelur di wadah/kontainer buatan, seperti pot bunga, ban bekas, atau kaleng. Sementara spesies lainnya, seperti *Anopheles*, bertelur di air yang menggenang lama, seperti kolam atau rawa. Nyamuk betina dapat bertelur antara 100 hingga 300 telur dalam satu kali bertelur. Telur biasanya menetas dalam waktu 1–3 hari tergantung pada suhu dan kondisi lingkungan (Hawkes & Hopkins, 2022).

Setelah menetas, telur menjadi larva yang dikenal oleh masyarakat sebagai jentik-jentik. Larva hidup di air dan harus muncul ke permukaan untuk bernapas melalui tabung udara yang disebut siphon, kecuali pada genus *Anopheles* yang tidak memiliki siphon dan berbaring sejajar dengan permukaan air. Larva memakan mikroorganisme dan

bahan organik dalam air untuk perkembangannya. Larva mengalami empat kali pergantian kulit atau *moulting* selama pertumbuhannya (dari larva instar 1 sampai instar 4). Tahapan ini berlangsung sekitar 7–14 hari tergantung pada suhu dan spesies nyamuk. Setelah tahap larva, nyamuk masuk ke tahap pupa yang dikenal sebagai kepompong, dan tetap hidup di air tetapi tidak makan. Dalam tahap pupa, tubuh nyamuk mengalami metamorfosis menjadi bentuk dewasa. Tahap ini biasanya berlangsung selama 1–4 hari. Pupa bisa bergerak dengan menggulung tubuhnya untuk menghindari predator. Setelah metamorfosis selesai, nyamuk dewasa keluar dari kepompong ke



Sumber: Adaptasi dari Hawkes & Hopkins (2022)

Gambar 1.1 Siklus Hidup Nyamuk

permukaan air. Nyamuk dewasa membutuhkan waktu beberapa jam untuk mengeringkan sayapnya dan mengeraskan tubuhnya sebelum bisa terbang (Hall & Tamir, 2021). Berikut gambaran skema siklus hidup nyamuk (Gambar 1.1).

2. Kebiasaan Menggigit Nyamuk

Nyamuk betina membutuhkan nutrisi darah untuk perkembangan telurnya sehingga mereka menggigit hewan berdarah panas, seperti manusia, hewan peliharaan, dan satwa liar. Nyamuk jantan tidak menggigit dan hanya memakan nektar. Setiap genus nyamuk memiliki pola makan yang khas. Nyamuk yang menggigit pada siang hari tertarik dengan segala sesuatu yang berwarna gelap, tetapi saat mendekati inangnya, mereka menggunakan isyarat penciuman, karbon dioksida, dan asam laktat untuk mencari makan. Kelenjar keringat, wewangian, dan bahkan alkohol tertentu membuat orang lebih menarik bagi nyamuk (Horrall, 2023).

Nyamuk *Ae. aegypti* merupakan hewan diurnal yang memiliki dua periode aktivitas menggigit, yaitu di pagi hari selama beberapa jam setelah matahari terbit dan sore hari selama beberapa jam sebelum gelap. Nyamuk *Ae. aegypti* juga memiliki kebiasaan menghisap darah pada siang hari yang disebut *day biting mosquito* dan mempunyai kebiasaan menggigit manusia secara berulang (Zahid et al., 2023). Nyamuk *Anopheles* sp. memiliki kebiasaan menggigit di luar rumah (eksofagik) dengan puncak aktivitas menggigit menjelang malam dan menjelang pagi hari, yaitu antara pukul 19.00–21.00 untuk aktivitas menggigit menjelang malam dan antara pukul 02.00–04.00 untuk aktivitas menggigit menjelang pagi. Oleh karena itu, biasanya pencegahan dari gigitan nyamuk *Anopheles* dilakukan dengan tidur di bawah kelambu berinsektisida setiap malam (Bedasso et al., 2022). Pada studi terkini, Nyamuk *Culex* teramati mempunyai beberapa puncak pola menggigit, yakni satu puncak terjadi segera setelah senja, satu puncak lagi pada tengah malam, dan satu puncak terakhir sesaat sebelum fajar. Mereka lebih suka menggigit di luar ruangan, tetapi juga sering ditemukan menggigit di dalam rumah. Memahami waktu

menggigit nyamuk dapat membantu dalam mengambil langkah-langkah pencegahan yang tepat, seperti menggunakan kelambu di malam hari, menghindari aktivitas di luar ruangan pada waktu puncak aktivitas nyamuk, dan menggunakan obat oles/repelen nyamuk (Rani et al., 2020).

3. Perilaku Istirahat Nyamuk

Perilaku istirahat nyamuk bervariasi tergantung pada spesiesnya dan lingkungan tempat mereka hidup. Beberapa spesies nyamuk, seperti *Aedes aegypti* dan *Anopheles gambiae*, cenderung beristirahat di dalam rumah setelah menggigit. Mereka sering ditemukan di tempat yang gelap dan tenang, seperti di belakang gorden, di bawah furnitur, di dinding, atau di tempat-tempat yang lembap seperti kamar mandi. Spesies lain seperti beberapa nyamuk jenis *Anopheles* dan *Culex* lebih suka beristirahat di luar rumah. Mereka bisa ditemukan di vegetasi, di bawah daun, di celah-celah batu, atau di tempat-tempat yang terlindung dari sinar matahari langsung. Nyamuk yang aktif pada malam hari, seperti *Anopheles* dan *Culex*, biasanya beristirahat pada siang hari di tempat-tempat yang teduh dan lembap untuk menghindari panas dan dehidrasi. Nyamuk yang aktif pada siang hari, seperti *Aedes aegypti*, beristirahat pada malam hari di tempat-tempat yang gelap dan terlindung (Sauer et al., 2021).

4. Kemampuan Jarak Terbang

Kemampuan nyamuk untuk terbang dalam sehari sekitar 30–50 meter, jarak ini tergantung dengan tersedianya tempat untuk bertelur, apabila ditemukan tempat untuk bertelur di sekitar rumah maka nyamuk tidak akan terbang lebih jauh. Pada beberapa penelitian menunjukkan bahwa *Ae. aegypti* dapat terbang sampai lebih dari 400 meter terutama untuk mencari tempat bertelur. Nyamuk *Ae. aegypti* jarang ditemukan di luar rumah karena nyamuk ini lebih suka beristirahat di tempat yang gelap, lembap, dan tersembunyi di dalam rumah atau bangunan, termasuk kamar tidur, kamar mandi, maupun di dapur. Nyamuk akan suka terbang umumnya pada kondisi hangat dan lembap, dan jika

angin terlalu kencang maka nyamuk tidak akan berusaha terbang (Hall & Tamir, 2021).

5. Distribusi Geografis Nyamuk

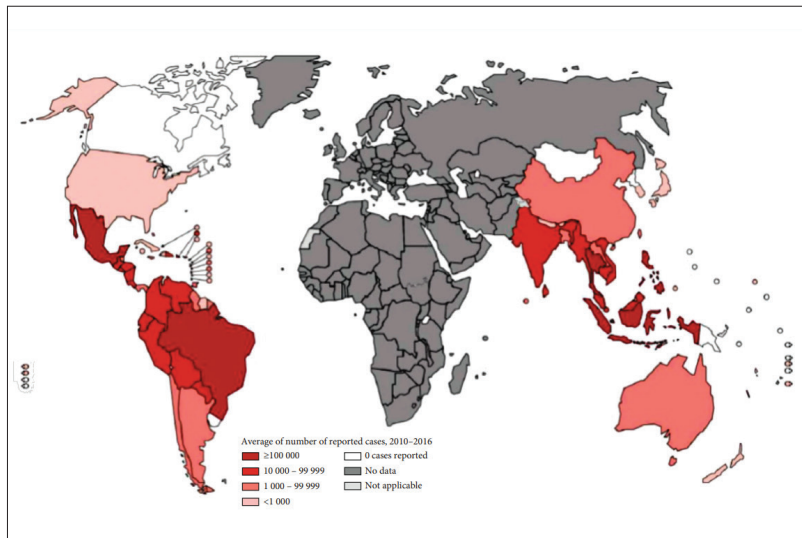
Distribusi geografis nyamuk sangat luas dan mencakup hampir seluruh dunia, kecuali beberapa wilayah yang sangat dingin atau kering. Nyamuk paling banyak ditemukan di daerah tropis dan subtropis. Di wilayah-wilayah ini, suhu hangat dan kelembapan tinggi menciptakan kondisi ideal bagi nyamuk untuk berkembang biak. Nyamuk dari genus *Aedes*, seperti *Aedes aegypti* yang menyebarkan DBD dan Zika, umum ditemukan di daerah tropis. Nyamuk ini juga ditemukan di daerah beriklim sedang, meskipun populasinya lebih sedikit dibandingkan dengan daerah tropis. Saat ini, nyamuk *Aedes* teridentifikasi hidup di 167 negara di dunia (Laporta et al., 2023). Di daerah kutub, nyamuk sangat jarang ditemukan karena suhu yang terlalu dingin untuk perkembangan mereka. Namun, beberapa spesies nyamuk dapat bertahan di wilayah subarktik selama musim panas yang singkat. Di daerah yang sangat kering, seperti gurun, nyamuk jarang ditemukan karena kurangnya air yang diperlukan untuk bertelur dan larva berkembang. Nyamuk dapat ditemukan baik di daerah urban maupun pedesaan. Di daerah urban, nyamuk sering berkembang biak di air yang tergenang di wadah buatan, seperti ban bekas, pot bunga, dan saluran air yang tersumbat. Di daerah pedesaan, nyamuk lebih cenderung ditemukan di genangan air alami, seperti rawa, danau, dan sawah. Distribusi nyamuk juga bervariasi secara musiman. Di daerah beriklim sedang, populasi nyamuk biasanya meningkat selama musim panas dan menurun saat musim dingin. Di daerah tropis, nyamuk bisa aktif sepanjang tahun, tetapi jumlahnya bisa meningkat selama musim hujan ketika lebih banyak genangan air tersedia. Secara keseluruhan, nyamuk adalah serangga yang sangat adaptif dan dapat ditemukan di berbagai habitat di seluruh dunia, meskipun preferensi mereka terhadap suhu, kelembapan, dan sumber air menentukan distribusi spesifik mereka di suatu wilayah (Hawkes & Hopkins, 2022).

C. Permasalahan Penyakit Tular Vektor Nyamuk dan Dampaknya bagi Kesehatan

Penyakit tular vektor nyamuk seperti Demam Berdarah Dengue (DBD), Malaria, Chikungunya, dan Filariasis sampai saat ini masih menjadi permasalahan kesehatan penting di Indonesia. Penyebaran penyakit tular vektor nyamuk di Indonesia tidak hanya berdampak pada kesehatan masyarakat, tetapi juga pada aspek sosial dan ekonomi. Penyakit ini sering kali menyebabkan tingginya angka morbiditas dan mortalitas, menurunkan produktivitas kerja, serta meningkatkan beban pada sistem kesehatan nasional (Nadjib et al., 2019; Zeng et al., 2018).

DBD merupakan penyakit tular vektor yang sampai saat masih paling menimbulkan permasalahan kesehatan di seluruh wilayah Indonesia. Sejak laporan kasus DBD pertama kali terjadi di Jakarta dan Surabaya pada tahun 1968, penyakit ini telah menyebar ke seluruh provinsi dan kemungkinan besar bersifat hiperendemik (beberapa serotipe yang bersirkulasi bersama) secara nasional (Wahyono et al., 2017). Beban penyakit DBD menjadi makin berat sejak tahun 1990 karena urbanisasi, pemanasan iklim, dan peningkatan mobilitas manusia di sebagian besar dunia. Asia Tenggara dan Asia Selatan tetap menjadi wilayah yang paling banyak terdapat kasus penyakit tular vektor. Saat ini, DBD merupakan penyakit endemik di lebih dari 100 negara di sebagian besar wilayah tropis dan subtropis di dunia, dilaporkan terutama di Asia Tenggara, Amerika, dan Pasifik Barat, serta lebih jarang di wilayah Afrika dan Mediterania Timur (Yang et al., 2021). Gambaran sebaran penyakit DBD ditunjukkan pada Gambar 1.2. Kasus DBD di Indonesia meningkat tajam pada tahun 2024. Tercatat per 1 Maret 2024 terdapat hampir 16.000 kasus DBD di 213 kabupaten/kota di Indonesia dengan 124 kematian (Rokom, 2024).

Selain DBD, penyakit Malaria juga menyebar secara global. Diperkirakan terdapat 247 juta kasus malaria dan 619.000 kematian di 84 negara endemik pada tahun 2021 (Poespoprodjo et al., 2023). Sampai saat ini penyakit Malaria juga masih merupakan permasa-



Sumber: Islam et al. (2021)

Gambar 1.2 Distribusi Geografis Sebaran Penyakit DBD

lahan kesehatan di Indonesia, terutama di wilayah timur, seperti Papua, Nusa Tenggara Timur, dan Kalimantan Timur. Sekitar 300 kabupaten dan kota (58%) yang telah memasuki kategori eliminasi, atau sekitar 208,1 juta penduduk (77,7%) tinggal di daerah bebas malaria (Direktorat Pencegahan dan Pengendalian, 2021).

Selanjutnya adalah wabah penyakit Chikungunya yang terjadi di 24 wilayah di seluruh Indonesia pada tahun 2001–2003. Pada tahun 2009 dan 2010, wabah chikungunya melanda Indonesia Barat dan Tengah, dan kasus meningkat dari sekitar 3.000 kasus per tahun menjadi 83.000 dan 52.000 kasus per tahun. Setelah tahun 2010, kasus yang terdeteksi turun menjadi 3.000 per tahun (Arif et al., 2020). Penyakit tular vektor lain yakni Filariasis. Memang sudah banyak wilayah dinyatakan bebas Filariasis, tetapi masih muncul kasus di beberapa daerah. Kasus filariasis limfatik di Indonesia mengalami penurunan dengan adanya implementasi program global WHO untuk

eliminasi filariasis limfatik, yaitu pemberian obat massal (*mass drug administration*/MDA). Sebanyak 103 kabupaten kota dinyatakan telah berhasil menurunkan angka mikrofilaria menjadi <1% (Lee & Ryu, 2019).

D. Tantangan Pengendalian Penyakit Tular Vektor Nyamuk

Berbagai macam upaya telah dilakukan dalam upaya pencegahan dan pengendalian penyakit vektor nyamuk. Berbagai metode pengendalian seperti pengendalian biologis (dengan organisme pemangsa), pengendalian mekanik dan fisik, serta pengendalian kimiawi dengan insektisida sudah dilakukan tetapi permasalahan penyakit tular vektor masih muncul. Beberapa inovasi pengendalian seperti teknik serangga mandul (TSM) dan penerapan bakteri *Wolbachia* masih diujicobakan untuk menurunkan populasi nyamuk dan risiko infeksi (Ernawan et al., 2019; Utarini et al., 2021). Namun, sampai saat ini, masih banyak tantangan pengendalian penyakit, sehingga angka kasus penyakit tular vektor nyamuk masih terus muncul. Berikut beberapa tantangan pengendalian penyakit tular vektor nyamuk.

1. Resistansi Insektisida

Salah satu tantangan terbesar dalam pengendalian vektor nyamuk adalah resistansi insektisida. Pemakaian insektisida secara terus-menerus dalam kurun waktu yang lama, serta kurang bervariasi jenis insektisida yang digunakan, dapat memicu munculnya resistansi insektisida (Silalahi et al., 2022). Nyamuk, terutama *Aedes aegypti* dan *Anopheles* spp., yang merupakan vektor utama penyakit DBD dan malaria, telah menunjukkan kemampuan untuk berkembang menjadi resistan terhadap berbagai jenis insektisida yang digunakan dalam program pengendalian vektor. Resistansi ini mengurangi efektivitas metode pengendalian, seperti penyemprotan insektisida dan penggunaan kelambu berinsektisida. Resistansi piretroid terkonsentrasi di Pantai Barat Semenanjung Malaysia dan Thailand Utara, serta tersebar di Pulau Jawa (Indonesia). Sedangkan

resistensi organofosfat terlihat di Pulau Jawa (Indonesia), Sumatera Barat (Indonesia), dan Semenanjung Utara (Malaysia). Resistensi organoklorin terlihat di Sabah, Malaysia dan penyebarannya tersebar di Nusa Tenggara, Indonesia (Hassan et al., 2021).

2. Perubahan Iklim dan Lingkungan

WHO memperkirakan bahwa salah satu dampak utama pemanasan global adalah meningkatnya beban penyakit yang ditularkan melalui vektor. Banyak patogen yang ditularkan oleh nyamuk yang saat ini terbatas di daerah tropis dan subtropis diperkirakan akan memperluas jangkauan geografisnya, dan mulai menginfeksi daerah beriklim sedang. Meningkatnya suhu global menyebabkan perluasan wilayah tempat nyamuk untuk dapat berkembang biak (Colón-González et al., 2021). Globalisasi, peningkatan perjalanan/mobilisasi, serta perdagangan internasional akan memungkinkan masuknya vektor nyamuk invasif dan patogen yang ditularkan melalui nyamuk dari daerah endemik ke daerah yang sebelumnya bebas penyakit. Perubahan lingkungan yang disebabkan oleh urbanisasi, perubahan iklim, dan deforestasi turut memengaruhi penyebaran nyamuk vektor (Rocklöv & Dubrow, 2020).

Urbanisasi menciptakan habitat baru yang mendukung perkembangbiakan nyamuk, seperti genangan air di lingkungan perkotaan. Urbanisasi mengakibatkan pertumbuhan fisik wilayah perkotaan, yang menyebabkan perubahan lingkungan. Ini adalah tren global yang dihasilkan dari pembangunan ekonomi. Banyak permasalahan yang muncul akibat urbanisasi, antara lain pencemaran lingkungan, kepadatan penduduk, dan perusakan ekologi alam. Urbanisasi merupakan fenomena dinamis yang mengakibatkan munculnya “kota-kota besar” dengan kepadatan penduduk yang tinggi, sementara pada saat yang sama, hal ini juga menyebabkan munculnya lanskap spasial baru yang sering kali ditandai dengan infrastruktur dan layanan yang tidak memadai sehingga menciptakan kondisi ideal bagi peningkatan penyakit menular termasuk yang ditularkan oleh nyamuk.

Beberapa studi menyebutkan urbanisasi berkorelasi dengan risiko dan kelimpahan populasi nyamuk *Aedes* yang jauh lebih tinggi melalui penyediaan tempat berkembang biak yang baik, tingkat perkembangan larva yang lebih tinggi, dan waktu bertahan hidup nyamuk dewasa. Faktor sosioekologis juga dapat secara terpisah atau bersama-sama memengaruhi distribusi spasial nyamuk *Aedes* dan penularan penyakit (Kolimenakis et al., 2021).

3. Keterlibatan masyarakat

Mengatasi tantangan pengendalian penyakit tular vektor nyamuk memerlukan usaha bersama dari berbagai pihak. Dengan pendekatan yang terintegrasi dan kolaboratif, diharapkan dapat mengurangi beban penyakit ini dan melindungi kesehatan masyarakat secara global. Beberapa upaya pencegahan misalnya gerakan PSN (Pemberantasan Sarang Nyamuk), serta pemberdayaan masyarakat dengan Jumantik (Juru Pemantau Jentik) dan G1R1J (Gerakan satu rumah satu Jumantik) untuk pencegahan penyakit DBD yang menemui banyak hambatan. Kurangnya kesadaran dan keterlibatan aktif masyarakat masih banyak menjadi hambatan pelaksanaan program di berbagai wilayah di Indonesia (Sulistyawati et al., 2019).

E. Poin Penting Buku

Penjelasan di atas mengenai penyakit tular vektor dan beberapa tantangan pengendaliannya merupakan pengantar pada buku bunga rampai ini. Buku ini akan menghadirkan beberapa bab menarik dengan tiap babnya yang mengkaji hal spesifik mengenai dinamika penyebaran penyakit tular vektor nyamuk. Pada Bab 2, Setiyaningsih et al. mengambil judul tentang “Pengendalian Penyakit Tular Vektor Terkini”. Bab ini mencakup riwayat pengendalian vektor nyamuk di Indonesia, serta upaya-upaya pengendalian vektor nyamuk yang telah dilakukan, di antaranya adalah pengendalian fisik, kimiawi, biologis, teknik serangga mandul, pengelolaan lingkungan, perlindungan diri menghindari gigitan nyamuk, pemberdayaan masyarakat, serta pengendalian secara terintegrasi.

Bab 3 dan Bab 4 mengambil topik tentang pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) dalam pencegahan dan pengendalian penyakit tular vektor nyamuk. Penulis Sunaryo pada Bab 3 memaparkan tentang manfaat SIG untuk pencegahan dan pengendalian penyakit tular vektor nyamuk dan beberapa jenis pemetaan untuk menggambarkan informasi spasial penyakit tular vektor nyamuk. Penulis juga menguraikan dengan contoh penelitiannya dalam pemanfaatan SIG, misalnya pemetaan risiko, pemetaan berseri, stratifikasi penyakit dengan pemetaan secara spasial, serta peta surveilans vektor DBD. Bab ini secara spesifik juga memaparkan penggunaan analisis spasial untuk membuat model peta kerawananan DBD dengan menggunakan variabel lingkungan, seperti curah hujan, kepadatan pemukiman, ketinggian tempat, dan sumber air.

Penulis Dwi Sarwani Sri Rejeki pada Bab 4 lebih banyak memaparkan hasil-hasil riset untuk pemanfaatan SIG dalam pengendalian penyakit Malaria dan DBD. Bab ini menguraikan pemanfaatan berbagai analisis, seperti analisis spasial, temporal, dan spasiotemporal dalam pencegahan dan pengendalian penyakit Malaria dan DBD. Penulis juga memperkaya bab yang ditulisnya dengan hasil-hasil riset terkait analisis spasial khususnya untuk penyakit DBD di Kabupaten Banyumas serta penyakit Malaria di Perbukitan Menoreh.

Bab 5 disajikan oleh penulis Sama' Iradat Tito dan Leny Ardini Arianti dengan judul "Implikasi Gelombang Ultrasonik Jangkrik bagi Penyakit Tular Vektor Nyamuk". Bab ini menguraikan potensi gelombang ultrasonik yang ada pada jangkrik sebagai pengendali nyamuk. Jangkrik yang memiliki frekuensi antara 0,2 kHz dan 50 kHz berpotensi mengendalikan nyamuk. Pengaruh gelombang ultrasonik terhadap nyamuk berdampak pada respons antena nyamuk yang menunjukkan adanya tekanan pada sistem saraf hingga cedera fisik dan kelelahan sehingga meningkatkan persentase jatuh dan kematian nyamuk.

Bab 6 berjudul "Peran dan Edukasi Masyarakat dalam Mencegah Penyakit yang Ditularkan Nyamuk" ditulis oleh Annisa Utami Rauf, Ratna Dwi Puji Astuti, dan Lusha Ayu Astari. Bab ini berisi tentang

peran komunitas dalam pemberantasan sarang nyamuk, peran institusi kesehatan dan pemerintah dalam pemberantasan sarang nyamuk, serta intervensi dan penelitian terkini yang melibatkan masyarakat. Bab ini juga diperkaya dengan berbagai contoh-contoh program pemberdayaan masyarakat terkait pencegahan penyakit tular vektor nyamuk. Tantangan pelibatan dan pemberdayaan masyarakat dalam program pencegahan penyakit tular vektor nyamuk juga dibahas dalam bab ini.

Buku bunga rampai ini hadir untuk memberikan wawasan tentang dinamika penularan penyakit vektor nyamuk dan tantangan pengendaliannya. Buku ini memang belum memberikan solusi praktis terkait pengendalian nyamuk secara komprehensif, tetapi upaya pengendalian yang efektif tentu lahir dari wawasan dan pengetahuan yang memadai tentang vektor nyamuk dan dinamika penularannya. Semoga hadirnya buku ini dapat memberikan banyak manfaat sebagai kontribusi dalam pencegahan dan pengendalian penyakit tular vektor nyamuk.

Referensi

- Arif, M., Tauran, P., Kosasih, H., Pelupessy, N. M., Sennang, N., Mubin, R. H., Sudarmono, P., Tjitra, E., Murniati, D., Alam, A., Gasem, M. H., Aman, A. T., Lokida, D., Hadi, U., Parwati, K. T. M., Lau, C. Y., Neal, A., & Karyana, M. (2020). Chikungunya in Indonesia: Epidemiology and diagnostic challenges. *PLoS Negl Trop Dis*, 14(6), e0008355. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0008355>
- Baxter, R., Contet, A., & Krueger, K. (2017). Arthropod innate immune systems and vector-borne diseases. *Biochemistry*, 56. <https://doi.org/10.1021/acs.biochem.6b00870>
- Bedasso, A. H., Gutto, A. A., Waldetensai, A., Eukubay, A., Bokore, G. E., Kinde, S., Gemechu, F., Debebe, Y., Aklilu, M., Tasew, G., Massebo, F., Teshome, A., Kebede, T., Abdulatif, B., Sisay, A., Solomon, H., & Kweka, E. J. (2022). Malaria vector feeding, peak biting time and resting place preference behaviors in line with Indoor based intervention tools and its implication: scenario from selected sentinel sites of Ethiopia. *Heliyon*, 8(12), e12178. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12178>

- Biro Komunikasi dan Pelayanan Publik (Rokom). (2024, 2 April). *Waspada, kenaikan kasus DBD belum mencapai puncak*. Kementerian Kesehatan RI. Diakses pada 19 Mei 2024, dari <https://sehatnegeriku.kemkes.go.id/baca/umum/20240402/0045224/waspada-kenaikan-kasus-dbd-belum-mencapai-puncak/>
- Colón-González, F. J., Sewe, M. O., Tompkins, A. M., Sjödin, H., Casallas, A., Rocklöv, J., Caminade, C., & Lowe, R. (2021). Projecting the risk of mosquito-borne diseases in a warmer and more populated world: A multi-model, multi-scenario intercomparison modelling study. *The Lancet Planetary Health*, 5(7), e404-e414. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00132-7](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00132-7)
- Direktorat Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Tular Vektor dan Zoonotik. (2021, 18 Maret). *Wilayah-wilayah endemis malaria tinggi di Indonesia*. Diakses pada bulan/tanggal/tahun dari <https://malaria.id/artikel/wilayah-wilayah-endemismalaria-tinggi-di-indonesia>
- Ernawan, B., Sasmita, H. I., Sadar, M., & Sugoro, I. (2019). Current status and recent achievements of the sterile insect technique program against dengue vector, *aedes aegypti*, in Indonesia. *Atom Indonesia*, 45(2), 7. <https://doi.org/10.17146/aij.2019.908>
- Hassan, M. R., Azit, N. A., Fadzil, S. M., Ghani, S. R. A., Ahmad, N., & Nawati, A. M. (2021). Insecticide resistance of Dengue vectors in South East Asia: a systematic review. *Afr Health Sci*, 21(3), 1124–1140. <https://doi.org/10.4314/ahs.v21i3.21>
- Hawkes, F. M., & Hopkins, R. J. (2022). The mosquito: An introduction. In M. Hall & D. Tamir (Eds.), *Mosquitopia: The Place of Pests in a Healthy World* (16–31). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003056034-3>
- Horrall, J. S. S. (2023). Mosquito bites. *National Library of Medicine*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK539915/>
- Islam, M. T., Quispe, C., Herrera-Bravo, J., Sarkar, C., Sharma, R., Garg, N., Fredes, L. I., Martorell, M., Alshehri, M. M., Sharifi-Rad, J., Daştan, S. D., Calina, D., Alsafi, R., Alghamdi, S., Batiha, G. E., & Cruz-Martins, N. (2021). Production, transmission, pathogenesis, and control of dengue virus: A literature-based undivided perspective. *BioMed Research International*, 2021, 1–23. <https://doi.org/10.1155/2021/4224816>
- Khariri, K. (2018). Short communication: Diversity of mosquitoes in Central Java, Indonesia that act as new vector in various tropical diseases. *Bonorowo Wetlands*, 8, 71–74. <https://doi.org/10.13057/bonorowo/w080203>

- Kolimenakis, A., Heinz, S., Wilson, M. L., & Winkler, V. (2021). The role of urbanisation in the spread of *Aedes* mosquitoes and the diseases they transmit-A systematic review. *PLoS Negl Trop Dis.*, 15(9), e0009631. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0009631>
- Laporta, G. Z., Potter, A. M., Oliveira, J. F. A., Bourke, B. P., Pecor, D. B., & Linton, Y.-M. (2023). Global distribution of *aedes aegypti* and *aedes albopictus* in a climate change scenario of regional rivalry. *Insects*, 14(1), 49. <https://doi.org/10.3390/insects14010049>
- Lee, J., & Ryu, J. S. (2019). Current status of parasite infections in Indonesia: A literature review. *Korean J Parasitol*, 57(4), 329–339. <https://doi.org/10.3347/kjp.2019.57.4.329>
- Manikandan, S., Mathivanan, A., Bora, B., Hemaladkshmi, P., Abhisubesh, V., & Poopathi, S. (2023). A review on vector borne disease transmission: Current strategies of mosquito vector control. *Indian Journal of Entomology*, 85(2), 503–513. <https://doi.org/10.55446/IJE.2022.593>
- Nadjib, M., Setiawan, E., Putri, S., Nealon, J., Beucher, S., Hadinegoro, S. R., Permanasari, V. Y., Sari, K., Wahyono, T. Y. M., Kristin, E., Wirawan, D. N., & Thabrany, H. (2019). Economic burden of dengue in Indonesia. *PLoS Negl Trop Dis*, 13(1), e0007038. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007038>
- Poespoprodjo, J. R., Douglas, N. M., Ansong, D., Kho, S., & Anstey, N. M. (2023). Malaria. *Lancet*, 402(10419), 2328–2345. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(23\)01249-7](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(23)01249-7)
- Rani, E., Surendran, & Thatheyus. (2020). Biting behaviour of the filarial vector mosquito, *Culex quinquefasciatus* say, in an urban area. *Journal of Plant and Animal Ecology*, 2(1), 1–13. <https://doi.org/10.14302/issn.2637-6075.jpae-20-3305>
- Rocklöv, J., & Dubrow, R. (2020). Climate change: an enduring challenge for vector-borne disease prevention and control. *Nature Immunology*, 21(5), 479–483. <https://doi.org/10.1038/s41590-020-0648-y>
- Sauer, F. G., Grave, J., Lühken, R., & Kiel, E. (2021). Habitat and microclimate affect the resting site selection of mosquitoes. *Medical and Veterinary Entomology*, 35(3), 379–388. <https://doi.org/10.1111/mve.12506>

- Silalahi, C. N., Tu, W. C., Chang, N. T., Singham, G. V., Ahmad, I., & Neoh, K. B. (2022). Insecticide resistance profiles and synergism of field aedes aegypti from Indonesia. *PLoS Negl Trop Dis.*, 16(6), e0010501. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0010501>
- Sulistiyawati, S., Astuti, F. D., Umniyati, S. R., Satoto, T. B. T., Lazuardi, L., Nilsson, M., Rocklov, J., Andersson, C., & Holmner, A. (2019). Dengue vector control through community empowerment: Lessons learned from a community-based study in Yogyakarta, Indonesia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6), 1013. <https://doi.org/10.3390/ijerph16061013>
- Hall, M., & Tamir, D. (2021). *Mosquitopia: The Place of Pests in a Healthy World*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003056034>
- Utarini, A., Indriani, C., Ahmad, R. A., Tantowijoyo, W., Arguni, E., Ansari, M. R., Supriyati, E., Wardana, D. S., Meitika, Y., Ernesia, I., Nurhayati, I., Prabowo, E., Andari, B., Green, B. R., Hodgson, L., Cutcher, Z., Rancès, E., Ryan, P. A., O'Neill, S. L., ... Simmons, C. P. (2021). Efficacy of wolbachia-infected mosquito deployments for the control of dengue. *New England Journal of Medicine*, 384(23), 2177–2186. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2030243>
- Wahyono, T. Y. M., Nealon, J., Beucher, S., Prayitno, A., Moureau, A., Nawawi, S., Thabrany, H., & Nadjib, M. (2017). Indonesian dengue burden estimates: review of evidence by an expert panel. *Epidemiology and Infection*, 145(11), 2324–2329. <https://doi.org/10.1017/S0950268817001030>
- Yang, X., Quam, M. B. M., Zhang, T., & Sang, S. (2021). Global burden for dengue and the evolving pattern in the past 30 years. *Journal of Travel Medicine*, 28(8). <https://doi.org/10.1093/jtm/taab146>
- Zahid, M. H., Wyk, H. V., Morrison, A. C., Coloma, J., Lee, G. O., Cevallos, V., Ponce, P., & Eisenberg, J. N. S. (2023). The biting rate of Aedes aegypti and its variability: A systematic review (1970–2022). *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 17(8), e0010831. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0010831>

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB 2

Pengendalian Penyakit Tular Vektor Nyamuk Terkini

Riyani Setiyaningsih, Triwibowo Ambar Garjito, dan
Anis Nur Widayati

A. Pendahuluan

Permasalahan penyakit tular vektor nyamuk seperti Demam Berdarah Dengue (DBD), Chikungunya, Malaria, dan Filariasis masih menjadi permasalahan kesehatan penting di Indonesia. Vektor merupakan arthropoda yang dapat menularkan, memindahkan, dan/atau menjadi sumber penular penyakit. Berdasarkan jenisnya, vektor dibedakan menjadi vektor mekanis dan vektor biologis. Vektor mekanis adalah arthropoda yang menularkan patogen ke manusia melalui bagian luar tubuhnya. Lalat merupakan contoh vektor mekanis yang dapat menularkan beberapa jenis penyakit. Vektor biologis adalah arthropoda yang dapat menularkan patogen, di mana patogen yang akan ditularkan masuk ke dalam tubuh serangga dahulu sebelum ditularkan ke manusia. Contoh vektor biologis adalah nyamuk (Permenkes No. 50, 2017).

R. Setiyaningsih*, T. A. Garjito, & A. N. Widayati

*Balai Besar Laboratorium Kesehatan Lingkungan (BBLKL) Salatiga, e-mail: ryanisetia@gmail.com

©2024 Editor & Penulis

Wijayanti, S. P. M., Garjito, T. A., & Widayati, A. N. (2024). Pengendalian penyakit tular vektor nyamuk terkini. Dalam S. P. M. Wijayanti & A. L. Ramadona (Ed.), *Dinamika penyakit tular vektor nyamuk di Indonesia* (19–53). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.1589.c1272 E-ISBN: 978-602-6303-59-2

Berdasarkan jenis penyakit yang ditularkan, nyamuk dapat berperan sebagai vektor penyakit Malaria, DBD, Chikungunya, Zika, Filariasis, dan JE (*Japanese Encephalitis*). Jenis vektor yang berperan pada penyakit-penyakit tersebut cenderung berbeda pada masing-masing provinsi di Indonesia. Berdasarkan studi sebelumnya, beberapa spesies yang telah terkonfirmasi sebagai vektor malaria di Indonesia adalah *An. aconitus*, *An. sundanicus*, *An. maculatus*, *An. subpictus*, *An. vagus*, *An. balabacensis*, *An. nigerrimus*, *An. sinensis*, *An. umbrosus*, *An. letifer*, *An. flavirostris*, *An. ludlowae*, *An. bancrofti*, *An. punctulatus*, dan *An. koliensis* (Elyazar et al., 2013; B2P2VRP, 2017). Vektor JE antara lain *Cx. quinquefasciatus*, *Cx. bitaeniorhynchus*, *An. kochi*, *Ar. subalbatus*, *Cx. tritaeniorhynchus*, *Cx. gelidus*, dan *Cx. fuscocephalus*. Sedangkan vektor filariasis di Indonesia adalah *Cx. quinquefasciatus*, *Ma. uniformis*, dan *Ma. indiana*. Vektor DBD dan Chikungunya di Indonesia adalah *Ae. aegypti* dan *Ae. Albopictus* (Elyazar et al., 2013; B2P2VRP, 2017). Berdasarkan perilakunya, setiap spesies vektor memiliki perilaku yang berbeda-beda. Sebagai contoh vektor DBD dan chikungunya, *Ae. aegypti* tempat perkembangbiakannya cenderung ditemukan di dalam rumah dan perilakunya lebih suka menghisap darah manusia pada pagi hari. Vektor malaria cenderung menghisap darah pada malam hari. Vektor ini menghisap darah manusia, hewan, atau keduanya tergantung spesiesnya. Bila dilihat dari tempat perkembangbiakannya, vektor malaria memiliki jenis tempat perkembangbiakan yang bervariasi tergantung spesiesnya. Berdasarkan bionomik tersebut, maka metode pengendalian vektornya pun harus disesuaikan dengan perilaku vektor yang akan dikendalikan (Pates & Curtis, 2005; Kobylinski et al., 2010; Kamareddine, 2012; Stenn et al., 2018).

Pemerintah telah mengupayakan berbagai metode pengendalian vektor dalam rangka pengendalian penyakit tular vektor. Metode pengendalian yang telah diterapkan didasarkan pada perilaku vektor yang akan dikendalikan. Sebagai contoh pengendalian vektor DBD dan chikungunya yang telah diterapkan oleh pemerintah, antara lain aplikasi *fogging* dalam mengendalikan nyamuk vektor DBD dan chikungunya (*Ae. aegypti* dan *Ae. albopictus*). Pengendalian secara

kimiaawi dengan *fogging* diterapkan pada kondisi khusus terutama jika terjadi peningkatan kasus atau kejadian luar biasa (KLB). Pemerintah dalam rangka pengendalian vektor DBD dan chikungunya terutama vektor pada stadium jentik telah menetapkan program nasional, yaitu 3M plus, dan sekarang dikembangkan dengan kegiatan satu rumah satu jumentik (GIRIJ) (Kemenkes RI, 2016). Pengendalian stadium jentik juga dapat dilakukan dengan pemberian larvasida pada tempat-tempat yang berpotensi sebagai tempat perkembangbiakan nyamuk vektor DBD dan chikungunya. Metode pengendalian vektor malaria yang sudah diterapkan pemerintah, antara lain dengan penggunaan kelambu berinsektisida serta dengan aplikasi *indoor residual spraying* (IRS). Metode-metode pengendalian tersebut sampai sekarang masih dilakukan oleh pemerintah dalam rangka pengendalian vektor penyakit. Diharapkan dengan metode pengendalian tersebut dapat menurunkan populasi vektor di alam. Harapannya jika vektor penyakit dapat dikendalikan secara tidak langsung akan dapat menurunkan penyakit tular vektor di Indonesia (Kemenkes RI, 2009; Kemenkes RI, 2011; Kemenkes RI, 2016; P2PTVZ, 2016).

Penyakit tular vektor yang ditularkan oleh nyamuk masih ditemukan di Indonesia sampai sekarang, padahal pemerintah telah melakukan berbagai metode dalam rangka pengendalian vektor. Salah satu faktor yang menyebabkan penyakit tular vektor masih ada di Indonesia adalah karena masih ditemukannya nyamuk yang sebelumnya telah terkonfirmasi sebagai vektor penyakit. Masih ditemukannya nyamuk vektor walaupun sudah dilakukan pengendalian maka perlu dilakukan evaluasi apakah pengendalian yang dilakukan sudah efektif dan tepat sasaran baik metode maupun caranya. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka buku ini ditulis untuk memberikan informasi berbagai metode pengendalian vektor termasuk metode terkini yang dapat dilakukan dalam rangka pengendalian vektor penyakit di Indonesia.

B. Riwayat Pengendalian Vektor di Indonesia

Upaya pengendalian vektor secara luas pada tahun 1945 dilakukan dengan menggunakan DDT (*Dichloro Diphenyl Trichloroethane*) yang

merupakan insektisida organik sintetik. Aplikasi insektisida tersebut diketahui dapat membantu menanggulangi berbagai penyakit yang ditularkan oleh vektor serangga. Pemakaian insektisida yang terus-menerus menyebabkan terjadinya resistansi. Resistansi terhadap DDT pertama kali dilaporkan di Swedia pada tahun 1946 pada lalat. Pada tahun 1948, dilaporkan terjadinya resistansi nyamuk dan lalat terhadap insektisida. Pada tahun 1954, di Indonesia telah dilaporkan terjadinya resistansi pada *Anopheles sundaicus* terhadap DDT di Jawa Tengah dan Jawa Timur. Pada tahun 1984, terjadi perluasan resistansi nyamuk terhadap DDT di berbagai wilayah di Indonesia. Peningkatan resistansi ini disebabkan oleh pemakaian insektisida yang tidak sesuai dengan dosis yang dianjurkan dan tidak disesuaikan dengan karakteristik insektisidanya. Akibatnya, populasi nyamuk resistan di lapangan akan semakin meningkat (Hoedjo, 2000).

Aplikasi penggunaan DDT dalam pengendalian vektor mulai dilarang digunakan pada tahun 1970. Hal ini dikarenakan insektisida tersebut berbahaya bagi lingkungan dan makhluk hidup yang ada di dalamnya. Pemakaian DDT akan memengaruhi siklus rantai makanan yang terjadi di dalamnya. Jika salah satu bagian dari rantai makanan terkontaminasi dengan DDT, maka aliran DDT pada siklus rantai makanan akan terus berjalan sehingga secara tidak langsung akan memengaruhi daya tahan hidupnya. Oleh karena itu, negara-negara maju melarang penggunaan insektisida jenis ini, walaupun di beberapa negara berkembang penggunaan DDT ini masih digunakan. Penggunaan DDT diizinkan digunakan hanya pada kondisi darurat pada saat terjadi KLB. Hal ini karena penggunaan jenis insektisida yang lain harganya mahal (Sadasivaiah et al., 2007; Tarumingkeng, 2008). Kementerian Pertanian Indonesia melarang penggunaan DDT di bidang pertanian, demikian juga Komisi Pestisida RI tidak mengizinkan penggunaan insektisida dengan golongan hidrokarbon berklor dan organoklorin. DDT merupakan insektisida dalam golongan tersebut (Tarumingkeng, 2008).

Aplikasi pengendalian vektor beralih menggunakan insektisida jenis lain selain dari golongan organoklorin. Beberapa golongan

insektisida yang digunakan antara lain golongan pyrethroid, karbamat, dan organofosfat. Aplikasi penggunaan insektisida tersebut dalam jangka kurun waktu yang lama dan terus-menerus juga memberikan dampak terjadinya resistansi vektor. Hasil penelitian di beberapa daerah di Provinsi Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta menunjukkan *Ae. aegypti* telah resistan terhadap insektisida *Malathion* 0,8%, *Bendiocarb* 0,1%, *Lambda sihalotrin* 0,05%, *Permethrin* 0,75%, *Deltametrin* 0,05%, dan *Etofenprox* 0,5% (Widiarti, 2011). Studi yang lain juga menunjukkan adanya resistansi nyamuk *Ae. aegypti* di banyak kabupaten di Indonesia. Sebanyak 86 kabupaten (84%) telah resistan terhadap insektisida *malathion* (0,8%) dan 50 kabupaten (49%) resistansi terhadap temefos (0,02%). Sebanyak 100 kabupaten (98%) resistan terhadap *sipermetrin* (0,05%) dan 18 kabupaten (40%) resistan terhadap *alfa sipermetrin* (0,025%). Hasil uji terhadap *deltametrin* (0,025%) menunjukkan sebanyak 66 kabupaten (65%) telah resistan terhadap *deltametrin* (Ariati et al., 2019). Studi di Jawa Timur juga menunjukkan adanya penurunan status resistansi nyamuk *An. sundaicus* dan *An. aconitus*. *Anopheles aconitus* yang diketahui perkembangbiakannya di sawah cenderung mengalami resistansi silang terhadap insektisida pyrethroid (Widiarti et al., 2018).

Upaya pengendalian vektor DBD telah dilakukan sejak 35 tahun terakhir. Pada awalnya, pengendalian nyamuk dewasa dilakukan dengan pengasapan perifokal udara dengan mesin pengasapan *thermal fogging portable* atau alat yang dipasang di atas mobil, dan mesin *ultra-low volume* pada radius 10 meter dari kasus DBD. Kebijakan tersebut kemudian berubah pada dekade 1980-an berubah dengan adanya penambahan larvasida secara intensif dengan menggunakan *temephos* pada *granule* pasir (Suroso, 1984). Dalam kebijakan tersebut mengharuskan perlakuan larvasida di semua tempat perkembangbiakan nyamuk di daerah endemis urban DBD sekali setahun, tepat sebelum musim penularan. Khusus untuk daerah dengan kasus DBD, selama tiga tahun berturut-turut, Departemen Kesehatan menentukan kebijakan penjadwalan aplikasi larvasida setiap tiga bulan sekali. Kebijakan ini dilakukan selama tahun 1986–1991 (Lubis, 1998).

Mulai awal 1992 hingga sekarang, kebijakan nasional menekankan pada pengendalian jentik dengan menggunakan upaya masyarakat, penyuluhan kesehatan, dan kerja sama lintas sektoral. Namun, sepertinya kebijakan tersebut tidak berjalan dengan baik dan terkesan hanya slogan saja, sedangkan evaluasi dan monitoring kegiatan belum banyak dilakukan (Lubis, 1998). Sejak tahun 1995, setiap 2 tahun sekali diadakan pertemuan kelompok kerja operasional (POKJANAL) DBD dengan peserta bervariasi dari pemerintah daerah (Pemda), Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda), Pemberdayaan Masyarakat dan Desa (PMD), PKK, Dewan Perwakilan Rakyat Daerah (DPRD), dan unsur kesehatan.

Saat ini, upaya nasional menitikberatkan untuk membentuk kelompok kerja pada level desa/RT/RW di bawah bimbingan petugas Puskesmas. Program ini dinamakan Bulan Gerakan, yakni program yang menekankan pada penyuluhan intensif melalui media massa, kelompok wanita, dan anak sekolah, dengan upaya menghilangkan sumber tempat perkembangbiakan nyamuk oleh masyarakat, yang di antaranya berupa kegiatan pemeriksaan dari rumah ke rumah untuk melacak jentik, pembersihan penampung air, serta pemberian larvisida temephos jika perlu. Program ini biasa dikenal dengan istilah 3M plus, yaitu menguras, mengubur, dan menutup. Tindakan plus pada program 3M, antara lain memberikan larvasida, ikan, dan lain-lain disesuaikan dengan kondisi masyarakat setempat. Salah satu pelaku program 3M adalah PKK. Kader PKK diharapkan dapat mendidik pemilik rumah untuk melihat rumah dengan cara melacak jentik, mempraktikkan cara menyimpan air yang aman, serta membersihkan alat perindukan nyamuk secara berkala. Namun demikian, belum ada laporan tentang keberhasilan program ini (Lubis, 1998).

Upaya pengendalian telah dilakukan, tetapi, jumlah penderita DBD di Indonesia dari tahun ke tahun tidak pernah turun bahkan cenderung meningkat. Upaya pengendalian yang dilakukan dan dievaluasi secara sistematis pada era sentralisasi saat ini telah banyak ditinggalkan. Dalam era otonomi daerah, kebijakan pengendalian ini sangat ditentukan oleh kemampuan daerah baik dalam pemilihan penggunaan insektisida maupun aplikasinya. Kebijakan penggunaan

insektisida tanpa monitoring dan evaluasi ini telah menyebabkan penggunaan insektisida yang tidak terkontrol di beberapa daerah (Kemenkes RI, 2017; 2018; 2023).

C. Upaya Pengendalian Nyamuk yang Telah Dilakukan

Berdasarkan rekomendasi *World Health Organization* (WHO), penanggulangan penyakit menular harus berdasar pengetahuan epidemiologinya, yaitu manusia (inang dari patogen), agen penyakit (patogen), vektor (nyamuk), dan lingkungan yang berpengaruh. Salah satu upaya dalam pengendalian penyakit tular vektor adalah dengan pengendalian vektornya. Perilaku vektor cenderung berbeda-beda di setiap daerah. Oleh karena itu, metode pengendalian yang dilakukan sebaiknya berdasarkan pada bionomik nyamuk yang akan dikendalikan sehingga akan lebih efektif hasilnya. Bionomik vektor DBD, chikungunya, filariasis, malaria, dan JE cenderung berbeda sehingga aplikasi pengendalian vektor yang dilakukan berbeda-beda (WHO, 1994; 2011).

Pengendalian nyamuk sendiri merupakan bagian terpenting dalam penanggulangan penyakit arbovirosis. Pengendalian nyamuk merupakan upaya meniadakan tempat berkembang biak, mengendalikan/memusnahkan populasi jentik dan nyamuk dewasa. Keberhasilan suatu cara pengendalian dilihat dari dengan berkurangnya jumlah nyamuk di tempat tersebut dan berkurangnya jumlah penderita yang tertular penyakit. Pengendalian nyamuk memerlukan pengetahuan tentang kebiasaan spesies yang khusus, topografi, iklim, dan sosio-ekonomi penduduknya (Lok, 1985). Berdasarkan hal tersebut, beberapa upaya pengendalian nyamuk yang telah dilakukan di antaranya sebagai berikut.

1. Pengendalian secara Fisik

Pengendalian secara fisik adalah pengendalian untuk mengurangi atau menghindari gigitan nyamuk. Prinsip pengendalian vektor secara fisik adalah menggunakan atau menghilangkan material fisik

untuk menurunkan populasi vektor dan binatang pembawa penyakit. Salah satu program pengendalian vektor DBD dan chikungunya yang diprogramkan oleh pemerintah adalah dengan 3M plus yang meliputi menguras, menutup, dan mendaur ulang penampungan air yang berpotensi sebagai tempat penampungan air. Kegiatan tambahan dalam 3M antara lain menutup lubang pohon bambu atau pohon lainnya dengan menggunakan tanah, membersihkan atau mengeringkan tanaman-tanaman yang berpotensi menampung air hujan, mengeringkan tempat-tempat yang tidak terpakai, memelihara ikan pemakan jentik, serta memasang kawat kasa (kawat nyamuk) pada semua lubang yang ada di rumah, seperti lubang angin, jendela, pintu, dan lainnya. Upaya lainnya yakni tidak menggantung pakaian di dalam rumah, mengatur pencahayaan dan ventilasi ruangan, menggunakan obat nyamuk dan larvasida (khusus untuk daerah-daerah yang kesulitan air), serta menanam tanaman pengusir nyamuk (Kemenkes RI, 2016).

Upaya pengendalian vektor DBD dan chikungunya yang lain adalah dengan *lethal ovitrap*. Aplikasi/*Autocidal ovitrap* dalam pengendalian vektor DBD dan chikungunya telah berhasil dilakukan di Singapura. Metode yang kemudian juga dikembangkan di Indonesia dengan nama *lethal ovitrap* ini merupakan salah satu upaya untuk menurunkan populasi nyamuk. Namun demikian, keberhasilan dari aplikasi alat ini sangat dipengaruhi oleh lokasi pemasangan dan jumlah ovitrap yang dipasang. Selain itu, faktor lain yang memengaruhi keberhasilan aplikasi ini dalam pengendalian populasi nyamuk adalah peran serta masyarakat dalam kegiatan Perilaku Hidup Bersih dan Sehat (PHBS). Salah satu bentuk PHBS masyarakat yang dapat mendukung upaya penurunan populasi vektor adalah melaksanakan kegiatan 3M plus. Apabila masyarakat kurang menyadari pentingnya kegiatan ini, maka akan sangat dimungkinkan bertambahnya tempat-tempat perkembangbiakan vektor DBD dan chikungunya baik di dalam maupun luar rumah. Banyaknya tempat perkembangbiakan alami di lingkungan menyebabkan nyamuk akan lebih mudah mencari tempat perkembangbiakan alaminya sehingga pengendalian dengan

menggunakan lethal ovitrap menjadi tidak maksimal (WHO, 2011; Kemenkes RI, 2016; Hijroh et al., 2017).

Jenis pengendalian vektor secara fisik yang lainnya dengan pemasangan perangkap baik untuk stadium pradewasa maupun dewasa. Media fisik yang bisa digunakan adalah air, gelombang elektronik, cahaya, dan peralatan listrik. Penggunaan *ovitrap* merupakan salah satu metode menggunakan perangkap dalam rangka pengendalian nyamuk pada stadium jentik. *Ovitrap* yang mengandung bahan yang dapat membunuh jentik dinamakan lethal *ovitrap*. Akan tetapi, ada *ovitrap* yang sifatnya hanya sebagai penarik agar nyamuk mau bertelur di dalam perangkap yang kita sediakan. *Ovitrap* jenis ini biasanya mengandung atraktan tertentu yang dapat menarik nyamuk untuk bertelur. Jenis-jenis atraktan yang bisa dipakai antara lain hasil fermentasi gula dan ragi. Cara kerja metode perangkap ini adalah dengan memasukkan larutan gula atau ragi yang telah difermentasikan di dalam botol yang telah dimodifikasi. Modifikasi botol ini dilakukan dengan cara memotong ujung botol di mana bagian mulut botol dimasukkan kembali ke bagian dalam botol dengan harapan nyamuk yang masuk tidak dapat keluar lagi (Astuti & RES, 2011). Perangkap nyamuk juga dapat berupa alat yang dimodifikasi sedemikian rupa dengan memanfaatkan tegangan listrik. Modifikasi yang lain bisa juga dibuat alat untuk mengatur suhu dan kelembapan sedemikian rupa agar dapat membunuh nyamuk yang terperangkap dalam alat tersebut (Adam, 2018; Dzulkiflih & Khansa, 2022).

2. Pengendalian secara Kimiawi

Dalam pengendalian nyamuk penular DBD, pengendalian secara kimiawi meliputi pengendalian stadium jentik dan stadium dewasa menggunakan insektisida. Pada pengendalian stadium jentik, insektisida pembunuh jentik (larvasida) yang biasa digunakan adalah temephos yang merupakan serbuk 1% dengan dosis 1 ppm atau 10 gram untuk setiap 100 liter air. Cara ini lazim disebut larvasidasi. Saat ini telah dikembangkan larvasida generasi ke tiga, yaitu IGR (*Insect Growth Regulator*). Cara kerja dari IGR ini adalah mengganggu

mekanisme pertumbuhan jentik sehingga jentik tidak dapat jadi dewasa dan mati atau bila menjadi dewasa akan timbul cacat. Insektisida ini dikenal ramah lingkungan karena targetnya hanya serangga yang dapat mengalami metamorfosis (WHO, 1994; 2017).

Pada pengendalian stadium dewasa, saat ini yang paling banyak digunakan adalah malathion yang diaplikasikan dengan menggunakan *fogging* (pengasapan) dan ULV (*Ultra Low Volume*). *Fogging* telah menjadi preferensi masyarakat dan pejabat pemerintahan dalam menanggulangi Kejadian Luar Biasa DBD. Tujuannya adalah cepat mematikan dan menurunkan populasi nyamuk *Aedes aegypti*, vektor virus Dengue. Hal ini merupakan persepsi yang keliru karena *fogging* hanya mampu mematikan nyamuk dewasa saja, sementara telur, larva, dan pupa yang ada di lingkungan masih tetap hidup. Selain itu, upaya pengendalian yang terus-menerus dengan menggunakan insektisida yang sama tanpa diikuti dengan monitoring dan evaluasi yang baik telah menyebabkan terjadinya resistansi *malathion* di berbagai tempat (WHO, 1980; Yulistyawati et al., 2013; Prasetyowati et al., 2016) termasuk di Indonesia. Saat ini telah direkomendasikan pergantian/rotasi jenis insektisida dalam aplikasi *fogging* di beberapa daerah di Indonesia.

Program *fogging* yang dilaksanakan sewaktu ada KLB DBD hanya bersifat selektif (*fogging* fokus), yaitu hanya di sekitar tempat yang ada kasus DBD-nya dengan cakupan luas wilayah radius 100 m. Asumsinya adalah di rumah-rumah penderita masih banyak nyamuk yang infeksi, yaitu nyamuk yang siap menularkan virus Dengue ke orang yang digigitnya. Dengan *fogging* fokus diharapkan menghentikan penularan dan penyebaran DBD di tempat itu, selanjutnya, laju peningkatan insidensi dan prevalensi penyakit DBD dapat dikendalikan. Jadi, indikasi *fogging* fokus adalah indikasi epidemiologis. Indikasi *fogging* fokus yang hanya berfokus pada penekanan populasi nyamuk *Aedes* termasuk indikasi entomologis (TBT & Nalim, 2007). *Fogging* fokus yang sifatnya selektif ini termasuk tindakan intervensi KLB DBD yang direkomendasikan oleh WHO. Upaya pengendalian vektor penyakit secara kimia dengan menggunakan insektisida makin lama justru menimbulkan resistansi nyamuk vektor (WHO, 1980).

ULV merupakan metode lain dalam pengendalian nyamuk penular DBD di dalam rumah. Metode ini dipertimbangkan karena nyamuk *Ae. aegypti* lebih suka hinggap pada barang-barang yang tergantung, seperti kelambu, dan baju-baju yang digantung. Kelebihan dari ULV ini adalah tidak banyak meninggalkan sisa solar dalam rumah karena dalam aplikasinya tidak menggunakan campuran solar, tetapi hanya menggunakan malathion 96% (WHO, 1980).

Salah satu program pengendalian vektor malaria di Indonesia adalah dengan pembagian kelambu berinsektisida. Kelambu berinsektisida ini diharapkan dapat melindungi masyarakat terhadap gigitan nyamuk pada malam hari. Kelambu ini dapat bertahan kurang lebih sampai tiga tahun dan dapat dicuci sebanyak 30 kali (Kemenkes RI, 2020). Pembagian kelambu ini diutamakan pada usia berisiko terjangkit malaria, yaitu balita dan ibu hamil. Tujuan aplikasi ini untuk usia berisiko adalah melindungi ibu hamil dan bayi dari penularan malaria dan mendorong peningkatan cakupan pelayanan rutin ibu hamil, serta untuk menurunkan angka stunting akibat terjadinya anemia pada ibu hamil dan balita yang terinfeksi malaria. Kegiatan ini dilaksanakan dengan melakukan penapisan malaria dengan pemeriksaan darah dan pemberian kelambu terhadap ibu hamil pada saat melakukan kunjungan. Pemeriksaan darah dan pembagian kelambu diutamakan di kabupaten/kota endemis malaria tinggi, dan secara selektif di kabupaten/kota dengan endemis sedang, rendah, dan sudah eliminasi malaria (Kemenkes RI, 2021).

Pembagian kelambu juga dibagikan pada kelompok lain yang berisiko terjadi penularan akan tetapi sulit dijangkau. Kelompok yang berisiko tersebut adalah pekerja perambah hutan, pekerja perkebunan, pekerja tambang ilegal, dan nelayan. Anggota militer dan polisi juga memiliki risiko terjadinya penularan malaria. Kelompok lain yang memiliki risiko tertular malaria adalah komunitas suku adat terpencil dan wisatawan. Berdasarkan laporan, 63 kabupaten/kota mengalami stagnasi penurunan kasus malaria lebih dari 5 tahun, 19 kabupaten di antaranya memiliki populasi yang tinggi di hutan atau pekerja di daerah sulit terjangkau pelayanan kesehatan (P2PTVZ, 2019).

Distribusi kelambu berinsektisida dilakukan di daerah endemisitas tinggi dan sedang. Selain itu, kampanye juga dilakukan setiap tiga tahun sekali dalam rangka memotivasi masyarakat untuk menggunakan kelambu berinsektisida. Pembagian kelambu secara massal telah dilakukan oleh pemerintah sejak tahun 2014, 2017, dan 2020 di daerah endemis tinggi dan fokus di daerah endemis sedang berdasarkan kelompok tidur. Pada tahun 2014 dan 2017, pemerintah telah berhasil mendistribusikan kelambu kepada masyarakat sebanyak 10,7 juta. Berdasarkan hasil survei menunjukkan perilaku anggota rumah tangga (ART) tidur di dalam kelambu berinsektisida sebesar 60.5% pada tahun 2019, sedangkan pada tahun 2021 terjadi peningkatan sebesar 84.7% (Kemenkes RI, 2023).

Jenis pengendalian vektor malaria lainnya yang juga dapat diaplikasikan bersama dengan penggunaan kelambu berinsektisida adalah *indoor residual spraying* (IRS). Penggunaan aplikasi ini bertujuan untuk membunuh nyamuk vektor yang memiliki perilaku istirahat di dinding. Aplikasi IRS di masyarakat biasanya dilakukan pada saat terjadinya peningkatan kasus malaria atau kejadian luar biasa. Metode IRS ini biasanya dilakukan dengan cara menyemprotkan insektisida pada dinding rumah dengan harapan nyamuk yang masuk ke dalam rumah dan hinggap di dinding akan mati terkena insektisida. Efektifitas aplikasi IRS dalam membunuh nyamuk dipengaruhi oleh jenis dinding yang disemprot. Hasil studi di Banyumas menunjukkan bahwa aplikasi IRS selama dua bulan dapat membunuh nyamuk *An. maculatus* di dinding kayu dan tembok masing-masing sebesar 98% dan 67% (WHO, 2015; Setiyaningsih et al., 2015).

Dalam upaya pengendalian malaria, selain dilakukan pengendalian vektor juga dilakukan pengobatan penderita. Tujuan pengobatan adalah untuk mengurangi sumber parasit yang dapat ditularkan ke manusia oleh vektor nyamuk. Standar pengobatan malaria yang digunakan sekarang adalah dengan menggunakan obat anti malaria (OAM), yaitu ACT (*Artemisinin Combination Therapy*). Obat tersebut sampai saat ini merupakan obat yang paling efektif dalam membunuh

parasit malaria. Proses pemberian ACT harus berdasarkan hasil pemeriksaan laboratorium. Hasil laporan tahun 2022 menunjukkan pasien yang diobati dengan ACT sebanyak 412.783 dari jumlah pasien positif malaria sebesar 443.530 kasus (Kemenkes RI, 2023).

Berdasarkan data tahun 2022, terdapat 93% pasien malaria yang diobati sesuai dengan standar pengobatan malaria. Angka tersebut di bawah standar capaian nasional, yaitu 95%. Nilai ini akan dapat tercapai apabila ketersediaan OAM terpenuhi. Oleh karena itu, diperlukan manajemen stok obat yang baik sehingga tidak terjadi stock out obat malaria (Kemenkes RI, 2023).

Setiap jenis metode pengendalian kimia yang dilakukan memiliki kelemahan dan kelebihan masing-masing. Pengendalian dengan IGR hanya dapat digunakan pada stadium pradewasa. Selain itu pengendalian ini juga membutuhkan waktu lebih panjang karena proses untuk membunuh jentiknya berlangsung lama. Sedangkan aplikasi pengendalian vektor dengan IGR memiliki kelebihan dapat menghambat perkembangan jentik, misalnya jika ditemukan jentik pada kontainer, ada kemungkinan besar bahwa jentik tersebut tidak akan berkembang menjadi nyamuk. Sementara itu, pengendalian vektor dengan fogging dan ULV memiliki keuntungan dapat menurunkan jumlah vektor dengan cepat, dengan catatan vektor yang dikendalikan di daerah tersebut belum mengalami resistansi. Namun, jika telah terjadi resistansi pada vektor, maka pengendalian dengan metode fogging dan ULV tidak akan efektif. Selain itu, metode *fogging* dan ULV hanya akan membunuh vektor pada stadium dewasa saja. Pengendalian vektor dengan kelambu akan efektif jika tidak ada kasus resistansi nyamuk dan perilaku masyarakat di lokasi pengendalian tidak melakukan aktivitas malam hari di luar rumah. Demikian juga dengan pengendalian vektor dengan metode IRS. Metode IRS akan lebih efektif membunuh vektor jika di lokasi pengendalian perilaku vektor ditemukan istirahat di dalam rumah (Kemenkes RI, 2023).

3. Pengendalian secara Biologis

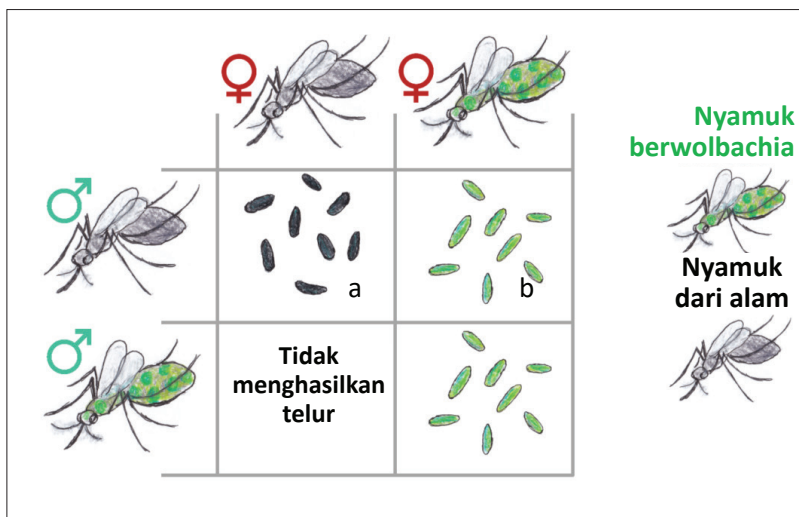
Saat ini, dari berbagai studi telah diidentifikasi dan diketahui berbagai agensia biologi yang dapat berperan sebagai pengendali biologis vektor penular DBD. Beberapa di antaranya adalah ikan kepala timah, ikan *guppy*, dan beberapa jenis ikan lainnya. Penggunaan ikan ini sangat efektif sebagai pengendali jentik di kolam ikan yang tidak dikuras. Berdasarkan studi, ikan cetol (*Poecilia reticulata*) mempunyai daya reproduksi 109 ekor/bulan. Ikan jantan mempunyai kemampuan daya predasi 14,30–51,29 ekor *Ae. aegypti*, sedangkan ikan cetol betina mampu memangsa *Ae. aegypti* sebanyak 90,41–101,47 ekor. Kombinasi ikan mas (*Cyprinus carpio*) dan *P. reticulata* dapat mengendalikan *Anopheles aconitus* sebesar 99.7% dengan kepadatan ikan 2 ekor/m². Penggunaan ikan Nila di Cilacap dapat mengendalikan vektor malaria *An. sundanicus*. *Copepoda Mesocyclops* juga merupakan agen hayati yang dapat digunakan dalam pengendalian vektor stadium pradewasa. Jasad hayati ini dapat hidup di berbagai macam media, serta memiliki daya predasi terhadap jentik *Ae. aegypti* 20,69 ekor/hari (Yuniarti & Widyastuti, 2000). Penggunaan *Mesocyclop* di gentong air dapat menurunkan populasi jentik *Ae. aegypti* sebesar 70,69 –75,90% pada minggu ketujuh. Penggunaan *Mesocyclop* dan produk lain (*vectobac*) dapat menurunkan populasi jentik *Ae. aegypti* di gentong air sebesar 96,56-100% selama 12 minggu. Hasil aplikasi agen hayati ini juga telah dilaporkan dapat menurunkan populasi nyamuk hingga 97% di Tahiti, Thailand, dan Vietnam khususnya tempat-tempat penampungan air yang sulit dikuras (Yuniarti, 2005).

Aplikasi *Bacillus thuringiensis* juga dilaporkan sangat baik untuk pengendalian jentik di air jernih, sedangkan *Bacillus sphaericus* sangat baik untuk pengendalian jentik di air kotor. Aplikasi pengendalian vektor dengan menggunakan *B. thuringiensis* juga telah dilakukan di Cilacap dengan menggunakan bakteri ini dari galur lokal. Hasil aplikasi menunjukkan bahwa setelah satu hari waktu penebaran bakteri ini, terjadi kematian jentik *Anopheles* sp. (80–100%) dan *Culex* sp. (79,3–100%) (Blondine & Widyastuti, 2013). Di samping berbagai agen biologi tersebut, masih banyak predator yang juga punya potensi sebagai pengendali jentik nyamuk yang efektif, seperti *Toxorhynchites*

dan cacing *Romanomermis* (Lok, 1985; WHO, 1994; Lubis, 1998). Meskipun berbagai agensi biologi tersebut telah dilaporkan efektif digunakan dalam pengendalian beberapa vektor penyakit, tetapi keberhasilan metode ini dilaporkan sangat dipengaruhi oleh jenis/tipe kontainernya.

Jenis pengendalian vektor secara biologis lain yang sekarang sedang dikembangkan adalah pengendalian vektor dengan menggunakan bakteri *wolbachia*. Prinsip pengendalian vektor dengan metode ini adalah menginfeksi bakteri *wolbachia* pada nyamuk di lapangan. Hasil infeksi bakteri pada nyamuk diharapkan dapat menghambat perkembangan virus yang ada di dalam tubuh nyamuk. Efek dari penghambatan perkembangan virus di dalam tubuh nyamuk akan berdampak pada menurunnya transmisi virus ke manusia yang ditularkan oleh nyamuk. Kandungan bakteri *wolbachia* pada nyamuk juga dapat berdampak pada umur nyamuk. Berkurangnya umur nyamuk, selain berdampak pada penurunan frekuensi penularan virus juga dapat berakibat pada penurunan populasi vektor di alam (Teixeira et al., 2008; McMeniman & O'Neill, 2010).

Secara umum, perkawinan nyamuk *Ae. aegypti* jantan dan betina akan menghasilkan telur-telur nyamuk yang *fertil* (dapat menetas). Dengan adanya pelepasan nyamuk ber*wolbachia* ke lapangan akan terjadi beberapa mekanisme perkawinan. Perkawinan antara nyamuk jantan di lapangan yang tidak mengandung *wolbachia* dengan nyamuk betina ber*wolbachia* akan menghasilkan keturunan telur-telur yang mengandung *wolbachia*. Perkawinan antara nyamuk jantan yang ber*wolbachia* dengan nyamuk betina yang tidak mengandung *wolbachia* tidak akan menghasilkan keturunan. Perkawinan nyamuk jantan ber*wolbachia* dengan nyamuk betina yang mengandung *wolbachia* akan menghasilkan keturunan yang mengandung *wolbachia*. Diharapkan dengan pelepasan nyamuk yang ber*wolbachia* ke lapangan, pada akhirnya akan terbentuk populasi nyamuk di alam yang didominasi nyamuk ber*wolbachia*. Hal ini secara tidak langsung akan berdampak pada penurunan terjadinya transmisi DBD di suatu wilayah. Proses transmisi *wolbachia* pada tubuh nyamuk dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Keterangan: (a) telur nyamuk *fertil* (dapat menetas), (b) telur nyamuk berwolbachia.

Sumber: World Mosquito Program (t.t.)

Gambar 2.1 Proses Perkawinan Nyamuk *Aedes Aegypti* Berwolbachia dengan yang tidak Berwolbachia.

Sampai sekarang, aplikasi pengendalian vektor dengan menggunakan *wolbachia* masih terbatas pada pengendalian DBD dan vektornya. Di Indonesia, spesies nyamuk yang telah terbukti sebagai vektor DBD adalah *Ae. aegypti* dan *Ae. albopictus*. Aplikasi penggunaan *wolbachia* dalam pengendalian DBD dan vektornya di Indonesia masih pada tahap penelitian dan diaplikasikan pada skala terbatas pada beberapa wilayah di Indonesia. Spesies *Aedes aegypti* merupakan vektor DBD yang sudah dapat diinfeksi dengan bakteri *wolbachia*. Penelitian aplikasi *wolbachia* dalam rangka pengendalian DBD mulai dilakukan di Daerah Istimewa Yogyakarta. Pada tahun 2011–2013, dilakukan penelitian untuk menguji aspek keamanan teknologi *wolbachia*, serta kelayakan dan persiapan untuk pelepasan nyamuk berwolbachia ke lapangan. Pada tahun 2013–2015, dilakukan pelepasan nyamuk berwolbachia ke lapangan dengan skala terbatas. Lokasi pelepasan nyamuk berwolbachia pertama kali adalah dua

dusun di Kabupaten Sleman, yaitu Dusun Karangtengah dan Ponowaren, Desa Nogotirto, dan Dusun Kronggahan 1 dan 2, Desa Trihanggo, serta dua dusun yang terletak di Kabupaten Bantul, yaitu Dusun Singosaren 3, Desa Singosaren, dan Dusun Jomblangan, Desa Banguntapan. Tujuan pelepasan nyamuk pada fase ini adalah untuk menguji kemampuan hidup nyamuk ber*wolbachia* yang dilepaskan ke alam, serta kemampuannya dalam menghambat replikasi virus DBD (Nuraeni et al., 2020).

Kegiatan aplikasi *wolbachia* di Yogyakarta pada tahun 2016–2020 dilanjutkan untuk membuktikan pengaruh *wolbachia* terhadap penurunan kasus DBD. Hasil penelitian menunjukkan aplikasi penyebaran nyamuk ber*wolbachia* di wilayah Yogyakarta dapat menurunkan kasus DBD sebesar 77,11 % dibandingkan daerah yang tidak dilepaskan nyamuk ber*wolbachia* (Nuraeni et al., 2020). Aplikasi penggunaan bakteri ber*wolbachia* dalam rangka menurunkan kasus DBD dalam skala yang lebih luas sedang dalam proses uji coba diaplikasikan ke skala yang lebih luas di beberapa kota di Indonesia, antara lain Kota Semarang, Bontang, dan Bandung.

4. Pengendalian Menggunakan Teknik Serangga Mandul (TSM)

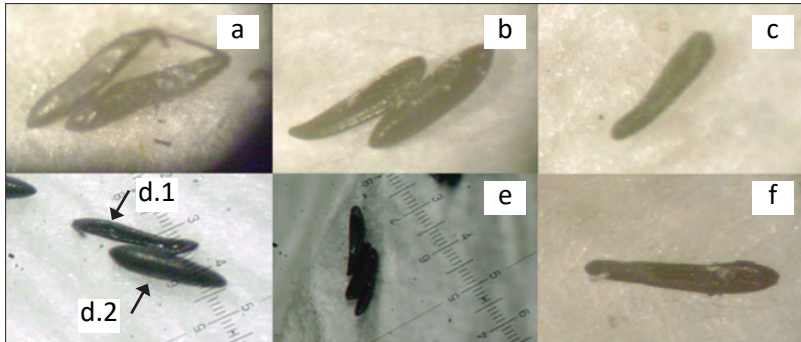
Pengendalian vektor dengan metode TSM merupakan salah satu metode pengendalian alternatif yang dapat dikembangkan dalam rangka mengendalikan populasi vektor di alam. Metode ini dilakukan dengan cara melepaskan serangga yang telah disterilkan ke alam dengan harapan serangga tersebut dapat melakukan perkawinan dengan serangga sejenisnya. Diharapkan hasil perkawinan serangga akan menghasilkan keturunan yang steril atau tidak memperoleh keturunan. Dengan demikian, secara tidak langsung akan menyebabkan penurunan populasi serangga sasaran. Penurunan populasi serangga secara tidak langsung dapat berdampak pada penurunan kasus penyakit yang ditularkan oleh serangga vektor (Alphey et al., 2010).

Aplikasi pengendalian vektor dengan metode TSM dapat dilakukan pada serangga-serangga dengan karakteristik khusus.

Syarat-syarat serangga yang dapat dikendalikan dengan metode TSM antara lain serangga betina yang tidak bersifat partenogenesis; serta serangga jantan yang mudah ditenakkan dan tidak mengalami penurunan kemampuan untuk melakukan kopulasi jika disterilkan. Pada serangga betina, diharapkan hanya melakukan perkawinan sekali seumur hidupnya, sedangkan pada serangga jantan dapat melakukan perkawinan lebih dari sekali serta memiliki kemampuan berkembangbiak dengan cepat, mudah beradaptasi dengan lingkungan, serta dapat dikembangkan di laboratorium. Daerah yang menjadi sasaran aplikasi ini diharapkan merupakan daerah yang terisolir. Hal ini bertujuan salah satunya agar dapat diketahui efektifitas metode pengendalian yang dilakukan dalam rangka menurunkan populasi vektor (Dick et al., 2005).

Proses sterilisasi serangga yang akan dikendalikan dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu dengan menggunakan zat kimia (*chemosterilant*) dan iradiasi. Penggunaan *chemosterilant* pada serangga dapat menyebabkan serangga tidak dapat bertelur, telur tidak menetas, jentik tidak dapat berkembang biak menjadi pupa, dan pupa tidak bisa berkembang menjadi serangga dewasa (Oka, 1995). Proses sterilisasi serangga dengan menggunakan *chemosterilant* tidak dianjurkan karena zat ini bersifat karsinogenik dan dapat mencemari lingkungan. Proses sterilisasi yang lain adalah dengan menggunakan sinar x dan sinar gamma (kobalt 60) (Bertlett & Staten, 2009). Beberapa dampak yang ditimbulkan akibat radiasi pada serangga antara lain hilangnya kesuburan pada serangga betina, serta terjadinya ketidakmampuan serangga dalam melakukan perkawinan terutama serangga betina. Ketidakmampuan kopulasi pada serangga jantan bisa disebabkan karena sperma menjadi tidak atau kurang aktif akibat terjadinya mutasi pada sperma (Oka, 1995). Hal ini dapat berdampak pada keturunan yang dihasilkan. Proses perkawinan antara nyamuk jantan yang telah disterilkan dengan nyamuk betina di lapangan dapat berdampak pada tidak dihasilkannya telur, atau jika dihasilkan telur maka telur tersebut sebagian besar tidak akan menetas. Berdasarkan hasil penelitian, morfologi telur yang dihasilkan

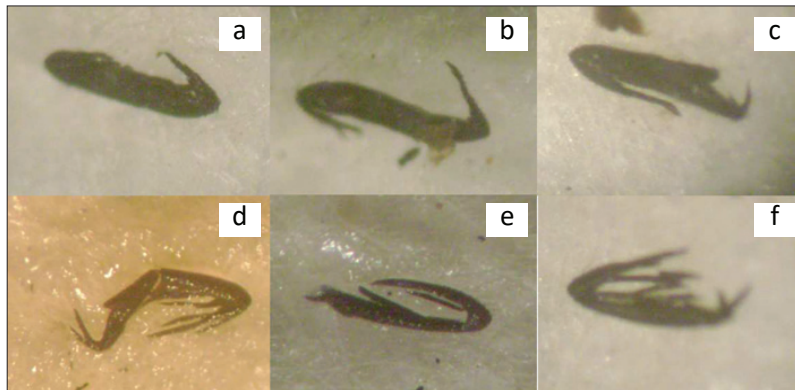
dari perkawinan jantan steril dengan betina normal dapat mengecil ukurannya, kempes, dan cacat (Setiyaningsih et al., 2015). Morfologi telur nyamuk akibat perkawinan antara nyamuk jantan steril dengan betina normal di lapangan dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan 2.3.



Keterangan: a, b, c, d.1, e, dan f adalah berbagai jenis perubahan morfologi telur *Ae. aegypti* yang mengempis, d.2 morfologi telur *Ae. aegypti* yang normal.

Sumber: Setiyaningsih et al. (2015)

Gambar 2.2 Morfologi Telur *Ae. Aegypti* Hasil Perkawinan Jantan Steril dengan Betina Normal di Lapangan yang Mengempis



Keterangan: a, b, c, d, e, dan f adalah berbagai jenis perubahan morfologi telur *Ae. aegypti* yang bercabang (rusak).

Sumber: Setiyaningsih et al. (2015)

Gambar 2.3 Variasi Morfologi Telur *Ae. Aegypti* Hasil Perkawinan Jantan Steril dengan Betina Normal di Lapangan yang Bercabang (Rusak)

Berdasarkan hasil studi, menunjukkan salah satu serangga vektor yang dapat dikendalikan dengan metode TSM adalah nyamuk (Dick et al., 2005). Proses sterilisasi nyamuk dilakukan pada nyamuk jantan dengan menggunakan sinar gamma. Proses radiasi ini diharapkan hanya akan merusak sel-sel kelamin dan tidak merusak sel-sel somatik pada nyamuk. Tahapan radiasi pada nyamuk biasanya dilakukan pada stadium pupa atau nyamuk yang masih berusia muda. Hal ini disebabkan karena pada tahapan tersebut, tahapan pembentukan sperma masih berlangsung sehingga proses radiasi akan lebih efektif terhadap sel sasaran. Proses radiasi ini akan memengaruhi morfologi kepala sperma yang dapat menyebabkan terjadinya mutasi letal (Bertlett & Staten, 2009).

Aplikasi pengendalian vektor nyamuk telah dilakukan di beberapa negara di antaranya Malaysia. Aplikasi teknik serangga mandul (TSM) di Malaysia telah dilakukan dalam rangka pengendalian populasi nyamuk *Ae. aegypti* di Kepulauan Ketam (Supartha, 2008). Aplikasi TSM ini juga telah dilakukan dalam rangka mengendalikan *Anopheles albominus* di El Salvador, sedangkan di Florida aplikasi metode pengendalian vektor ini telah dilakukan dalam rangka mengendalikan nyamuk *Ae. aegypti* dan *Anopheles quadrimaculatus* (FAO & IAEA, 1992). Hasil penelitian di Salatiga Jawa Tengah menunjukkan bahwa setelah aplikasi pelepasan *Ae. aegypti* jantan steril pertama, kedua, ketiga, keempat, dan kelima persentase sterilitas telur yang ditemukan di lapangan makin menurun. Persentase sterilitas telur di dalam rumah selama pelepasan jantan steril pertama, kedua, ketiga, keempat, dan kelima berturut-turut adalah 62,74%, 18,11%, 17,07%, 13,85%, dan 3,91%, sedangkan sterilitas telur di luar rumah setelah pelepasan pertama sampai kelima adalah 43,73%, 25,81%, 18,84%, 17,37%, dan 6,75% (Setiyaningsih et al., 2015). Hasil penelitian pelepasan jantan mandul *Ae. aegypti* di daerah urban menunjukkan bahwa terjadi penurunan populasi telur fertil di dalam rumah (49,21 %) dan di luar (89,25%) (Setyaningsih et al., 2014).

Keberhasilan pengendalian nyamuk dengan menggunakan metode TSM dapat dilihat dari parameter penurunan populasi nyamuk

setelah aplikasi. Parameter lain yang dapat diukur adalah populasi telur nyamuk yang ditemukan di lapangan. Populasi telur tersebut dapat dilihat dari seberapa besar telur yang ditemukan serta persentase fertilitas telur yang ditemukan. Metode pengendalian nyamuk dengan TSM dilakukan dengan menebar nyamuk ke lapangan melalui beberapa kali tahap penebaran. Jumlah nyamuk jantan steril yang dilepaskan disesuaikan dengan prediksi populasi nyamuk di lapangan. Prediksi populasi nyamuk di lapangan dilakukan dengan cara survei populasi jentik sebelum dilakukan penebaran (Setyaningsih et al., 2014).

5. Pengelolaan Lingkungan

Pengelolaan lingkungan bertujuan untuk mengurangi atau meniadakan tempat-tempat yang berpotensi sebagai tempat perkembangbiakan vektor. Diharapkan dengan kegiatan ini dapat membantu penurunan populasi vektor. Penurunan populasi vektor secara tidak langsung dapat memengaruhi penurunan terjadinya transmisi penyakit tular vektor. Pengelolaan lingkungan dalam rangka pengendalian vektor disesuaikan dengan dengan perilaku dan jenis tempat perkembangbiakan vektor yang akan dikendalikan.

Kebijakan pemerintah, dalam hal ini Kementerian Kesehatan, dituangkan dalam program nasional pengendalian DBD, salah satunya dengan gerakan pemberantasan sarang nyamuk (PSN) DBD melalui 3M (menguras, menutup, mengubur). Kegiatan ini telah diintensifkan sejak tahun 1992. Pada tahun 2000, gerakan ini dikembangkan menjadi 3M plus, yaitu dengan menggunakan larvasida, memelihara ikan, dan mencegah gigitan nyamuk. Pengendalian tempat perindukan nyamuk *Ae. aegypti* oleh masyarakat Indonesia, lebih dititikberatkan pada penutupan penampung air, sumur, serta penguburan barang buangan di sekitar rumah yang berpeluang sebagai penampung air hujan, atau sering disebut pengendalian secara fisik. Larva *Ae. aegypti* dikendalikan dengan meniadakan tempat perkembangbiakannya (Suroso, 1984; Lubis, 1998; Gionar et al., 2001; Kemenkes RI, 2016).

Keberhasilan PSN DBD dengan 3M ini pernah dilaporkan di beberapa tempat di Indonesia. Salah satunya adalah program *Rotary* untuk pencegahan DBD melalui inspeksi bergilir Dasa Wisma di 13 kota di Indonesia pada tahun 2002. Program ini dilakukan dengan menggunakan supervisi ketat dari para Rotarian di setiap kota. Masing-masing kelurahan dikunjungi setiap tiga bulan sekali untuk mengingatkan Bapak Lurah dan perangkatnya agar memacu Ibu Dasawisma untuk keliling secara bergantian setiap seminggu sekali. Hal ini dilakukan untuk memasyarakatkan gerakan ini. Selama supervisi berlangsung di beberapa kota, baik para Rotarian maupun tim penyuluh mampu berkontribusi dan menjalankan perannya masing-masing dengan baik. Kota Pekalongan bahkan mendapat penghargaan karena rendahnya kasus DBD. Namun, setelah program Rotari berhenti, masyarakat mulai bosan dengan program ini terutama karena tidak ada wabah DBD, kemudian mereka menghentikan kegiatan ini (TBT & Nalim, 2007).

Berdasarkan pengalaman tersebut, dapat kita simpulkan bahwa kunci utama keberhasilan pencegahan penularan DBD berada di tangan masyarakat sendiri. Apabila masyarakat ikut memantau dan peduli terhadap lingkungan mereka, DBD akan dapat ditekan dan wabah akan dapat dicegah (Satoto & Nalim, 2007; Kemenkes RI, 2021). Pengelolaan lingkungan dalam rangka pengendalian vektor malaria dapat dilakukan dengan memodifikasi lingkungan agar dapat menurunkan populasi vektor di lapangan. Beberapa contoh modifikasi lingkungan, antara lain melakukan penanaman padi secara serempak. Tujuan metode ini untuk memutus siklus hidup nyamuk. Terputusnya siklus ini akan dapat mengurangi terjadinya transmisi malaria. Modifikasi lain adalah mengurangi tanamanan air atau ganggang pada permukaan air sehingga mengubah kondisi lingkungan yang membuat jentik tidak dapat hidup dengan optimal (Permenkes No. 50, 2017).

6. Perlindungan Diri

Penggunaan proteksi diri saat ini sangat umum di Indonesia. Berbagai produk repelen dan insektisida rumah tangga banyak beredar di pasa-

ran, bahkan Indonesia merupakan pasar terbesar obat nyamuk bakar di dunia. Penggunaan repelen pada anak-anak usia sekolah dipercaya oleh para orang tua dapat mengurangi risiko tertular DBD (Lok, 1985; WHO, 1994). Hasil penelitian aplikasi repelen secara massal di Desa Laladon Kecamatan Ciomas, Kabupaten Bogor, menunjukkan bahwa aplikasi repelen ini dapat menurunkan populasi nyamuk di daerah tersebut. Penurunan populasi tersebut dapat dilihat dari nilai *House Index* (HI), *Container Index* (CI), dan *Breteau Index* (BI). Penggunaan repelen secara massal selama tiga minggu dapat menurunkan HI sebesar 58%, CI sebesar 24%, dan BI sebesar 12% (Hadi et al., 2008).

Penggunaan repelen dalam rangka mengurangi kontak dengan nyamuk dapat dilakukan dengan menggunakan repelen yang terbuat dari bahan alami maupun bahan yang mengandung insektisida. Bahan alami yang dapat digunakan untuk repelen, antara lain serai wangi (*Cymbopogon winterianus* Jowitt). Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak serai wangi dapat melindungi manusia terhadap gigitan nyamuk *Ae. aegypti* sebesar 92,26% selama lima jam setelah aplikasi (Yanti et al., 2022). Studi lain menunjukkan beberapa ekstrak daun yang dapat menolak *Ae. aegypti*. Hasil riset menunjukkan ekstrak zodia dapat menolak 88,2% terhadap gigitan nyamuk selama 2 jam, ekstrak daun tembakau selama 3 jam dapat menolak nyamuk sebanyak 84,9%, ekstrak daun gondopuro dapat menolak 83,3% terhadap gigitan nyamuk selama satu jam, sedangkan ekstrak daun cengkeh dapat menolak nyamuk sebanyak 81,7% selama 4 jam (Boesri et al., 2015).

Hasil penelitian riset kesehatan dasar (Riskesdas) di Indonesia menunjukkan bahwa beberapa perlindungan diri terhadap gigitan nyamuk antara lain dengan menggunakan obat anti nyamuk. Obat nyamuk yang digunakan untuk menghindari gigitan nyamuk, antara lain obat nyamuk semprot, bakar, atau elektrik. Beberapa metode lain yang digunakan, antara lain memasang kasa pada ventilasi rumah, menggunakan kelambu, repelen, dan raket elektrik nyamuk (Hermawan & Hananto, 2020). Hasil studi di Kelurahan Sangaji menunjukkan ada pengaruh penggunaan kawat kasa terhadap ke-

jadian malaria. Warga yang rumahnya dipasang dengan kawat kasa menyebabkan frekuensi kontak dengan nyamuk akan makin berkurang. Berkurangnya kontak nyamuk dengan manusia akan menurunkan potensi terjadinya penularan penyakit tular vektor (Mustafa et al., 2018). Studi di Puskesmas Pattingalloang Makassar menunjukkan faktor risiko terjadinya penularan DBD adalah karena masyarakat tidak menggunakan obat nyamuk serta tidak dilakukan pemasangan kawat kasa pada ventilasi (Muchlis et al., 2012).

Upaya perlindungan diri dalam rangka mengurangi terjadinya kontak dengan nyamuk juga dapat dilakukan dengan menggunakan baju lengan panjang dan celana panjang. Kegiatan ini dapat mengurangi terjadinya kontak antara nyamuk dan manusia. Metode ini dapat diaplikasikan di lingkungan masyarakat yang kecenderungan perilakunya melakukan kegiatan malam hari di luar rumah, seperti kegiatan jaga ladang, ronda, dan lainnya. Hal ini akan tepat dilakukan di daerah endemis malaria karena aktivitas nyamuk untuk menghisap darah terjadi pada malam hari. Penggunaan rok panjang, celana panjang, dan baju lengan panjang juga akan efektif dilakukan dalam rangka mengurangi kontak nyamuk vektor DBD dan chikungunya. Hal ini dapat diterapkan pada anak-anak sekolah. Penggunaan metode ini berdasarkan pada perilaku nyamuk vektor DBD dan chikungunya yang aktivitas menghisap darahnya cenderung terjadi pada pagi hari (Lima-Camara et al., 2016; Astin et al., 2020).

7. Pemberdayaan Masyarakat

Pelaksanaan program PSN DBD melalui 3M plus tidak hanya menjadi tanggung jawab sektor kesehatan saja, tapi melibatkan semua pihak yang terkait, seperti pemerintah daerah, dinas kesehatan, Kementerian Agama, Kimpraswil, Kementerian Perhubungan, Kementerian Pendidikan, juga para guru, dosen, anak sekolah, pramuka, mahasiswa, kader, tokoh masyarakat, petugas sektoral, pemilik bangunan/pertokoan, dan seluruh komponen masyarakat lainnya. Sasaran peran serta masyarakat terdiri dari keluarga melalui peran PKK dan organisasi kemasyarakatan atau LSM; murid sekolah melalui kegiatan

UKS dan pelatihan guru; tatanan institusi (kantor, tempat-tempat umum, tempat-tempat ibadah); sektor terkait dan petugas sanitasi lingkungan; serta masyarakat secara umum. Untuk meningkatkan peran serta masyarakat dalam PSN-DBD, Kementerian Kesehatan telah menetapkan delapan langkah yang terintegrasi. Delapan langkah tersebut adalah melakukan analisis situasi DBD kabupaten dan kota melalui kajian terhadap empat aspek, yaitu aspek epidemiologi, aspek entomologi, aspek sosial budaya dan perilaku, serta aspek manajemen; menyusun rencana strategis program peningkatan peran serta masyarakat dalam PSN-DBD di Kabupaten dan Kota; melaksanakan advokasi dan mewujudkan komitmen dalam kemitraan; mengajukan rencana strategis kepada pimpinan wilayah setempat; menyusun rencana operasional; melakukan persiapan pelaksanaan; melaksanakan rencana operasional, serta komitmen yang telah terwujud dengan memobilisasi sumber daya yang tersedia; dan melakukan pemantauan dan penilaian (Kemenkes RI, 2021). Namun demikian, langkah-langkah tersebut menjadi tidak berarti apabila tidak didukung oleh sumber daya manusia yang punya komitmen tinggi dalam kegiatan PSN DBD.

Gerakan 1 rumah 1 Jumantik (G1R1J) merupakan salah satu program pemerintah dalam rangka pengendalian vektor DBD dan chikungunya dengan memanfaatkan partisipasi masyarakat secara aktif. Setiap keluarga diharapkan dapat secara aktif melakukan pemantauan jentik secara berkala di lingkungannya masing-masing. Juru pemantauan jentik (jumantik) tiap keluarga dapat diwakili oleh kepala keluarga/anggota keluarga/penghuni dalam satu rumah yang disepakati untuk melaksanakan kegiatan pemantauan jentik. Dalam kegiatan pemantauan jentik, kepala keluarga berperan sebagai penanggung jawab kegiatan (Kemenkes RI, 2016).

Beberapa elemen yang berperan dalam keberhasilan program G1R1J adalah jumantik, jumantik lingkungan, koordinator jumantik, dinas kesehatan kabupaten/kota, dan dinas kesehatan provinsi. Berdasarkan tugasnya, jumantik terbagi menjadi dua, yaitu jumantik rumah dan jumantik lingkungan. Jumantik rumah bertugas untuk

menyosialisasi dan menggerakkan kegiatan PSN tiga plus terhadap anggota keluarga lainnya. Kegiatan PSN dilakukan seminggu sekali dengan melakukan pemeriksaan tempat-tempat perkembangbiakan vektor DBD dan chikungunya baik di dalam maupun luar rumah dan hasilnya dicatat dalam formulir pemantauan jentik. Tugas jumantik lingkungan pada dasarnya sama dengan jumantik rumah, perbedaannya hanya pada lokasi surveinya. Jumantik lingkungan bertugas untuk survei jentik di tempat-tempat umum (TTU) dan tempat-tempat ibadah (TTI). Laporan hasil survei jentik yang dilakukan oleh jumantik rumah dan lingkungan akan dilaporkan pada koordinator jumantik. Koordinator jumantik membawahi 20–25 orang jumantik rumah/lingkungan, di mana jumantik ini bertugas dan membuat jadwal survei dan mengoordinasi jumantik rumah dan lingkungan. Koordinator jumantik akan melaporkan hasil survei kepada supervisor jumantik sebulan sekali (Kemenkes RI, 2016).

Supervisor jumantik bertugas dalam memeriksa, mengarahkan, dan membimbing koordinator jumantik secara teknis. Supervisor juga bertugas dalam mengolah data jumantik menjadi parameter kepadatan vektor DBD dan chikungunya berupa angka bebas jentik (ABJ). Hasil analisis data tersebut akan dilaporkan pada puskesmas setiap bulan sekali. Laporan ini dari pihak puskesmas akan diteruskan ke dinas kesehatan setiap sebulan sekali. Pihak puskesmas juga memiliki beberapa tugas, antara lain: melakukan koordinasi dengan pihak kecamatan dan desa terkait pelaksanaan kegiatan PSN 3M plus; memberikan pelatihan teknis dan pembinaan kepada koordinator dan supervisor jumantik; mengawasi kinerja koordinator dan supervisor jumantik; serta melakukan pemantauan jentik berkala (PJB) minimal 3 bulan sekali dan melaporkan hasilnya pada dinas kesehatan (Kemenkes RI, 2016).

Laporan dari puskesmas akan dianalisis kembali oleh Dinas kesehatan kabupaten/kota kemudian dilaporkan ke dinas kesehatan provinsi. Dinas kesehatan kabupaten/kota juga bertugas dalam melakukan bimbingan teknis perekrutan dan pelatihan jumantik,

serta mendukung operasional kegiatan jumantik di wilayahnya. Laporan dari dinas kesehatan kota/kabupaten akan dievaluasi dan diberikan umpan balik oleh dinas kesehatan provinsi, serta dilakukan pembinaan kegiatan PSN 3M plus di kabupaten/kota. Hasil laporan ini akan diteruskan ke Direktorat Jenderal Pencegahan dan Pengendalian Penyakit (Ditjen P2P) Kementerian Kesehatan RI setiap tiga bulan (Kemenkes RI, 2016).

8. Pengendalian secara Komprehensif dan Terintegrasi

Pengendalian secara komprehensif dan terintegrasi merupakan teknik pengendalian vektor yang melibatkan pemerintah setempat, lintas sektor serta peran, serta masyarakat. Ketiga komponen tersebut jika dikerjakan secara bersama-sama sesuai dengan tugas dan fungsinya akan menyebabkan tujuan pengendalian vektor dalam rangka menurunkan angka kesakitan yang ditularkan oleh vektor akan menjadi lebih optimal. Sebagai contoh pemerintah dalam rangka pengendalian vektor adalah dengan menggunakan insektisida baik melalui *fogging*, IRS, larvasida, dan kelambu berinsektisida (Kemenkes RI, 2011; WHO, 2015).

Pengendalian secara kimia disarankan jika terjadi kejadian luar biasa (KLB) dalam rangka pengendalian vektor, pemerintah menggunakan insektisida baik melalui fogging, IRS, larvasida, maupun kelambu berinsektisida agar dapat segera menurunkan kasus yang telah terjadi. Akan tetapi, pengendalian secara kimiawi yang dilakukan secara terus-menerus dalam waktu yang lama dapat menyebabkan terjadinya resistansi vektor. Terjadinya resistansi menyebabkan pengendalian vektor yang dilakukan menjadi tidak optimal. Pemerintah dalam rangka mengurangi penggunaan insektisida dalam menurunkan kasus DBD perlu dibantu peran serta masyarakat. Peran serta masyarakat dapat berwujud partisipasi masyarakat dalam rangka pengendalian vektor. Bentuk partisipasi masyarakat dilakukan melalui kegiatan 3M plus di lingkungan masing-masing. Kegiatan ini jika dilakukan dengan sungguh-sungguh akan dapat menurunkan jumlah tempat perkembangbiakan vektor penyakit. Penurunan jumlah tempat

perkembangbiakan akan dapat menurunkan populasi vektor, yang secara tidak langsung akan membantu menurunkan kasus penyakit tular vektor (Kemenkes RI, 2016).

Hasil penelitian pentingnya kegiatan terintegrasi dalam pengendalian vektor, antara lain terlihat pada aplikasi pengendalian vektor DBD di Kelurahan Sungai Jawi Dalam (Kecamatan Pontianak Barat) dan Kelurahan Batulayang (Kecamatan Pontianak Utara) yang berbasis masyarakat dengan menggunakan *sticky autocidal mosquito trap*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi *sticky autocidal mosquito trap* yang dibantu peran serta masyarakat dapat menurunkan populasi vektor dengan parameter populasi vektor DBD, yaitu HI sebesar 25%, CI sebesar 11,17%, dan BI sebesar 38% (Saepudin et al., 2020).

Beberapa faktor penyebab kasus penyakit tular vektor terutama DBD masih terus ada di Indonesia. Hasil studi di Jawa Tengah menunjukkan bahwa peningkatan kasus DBD disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain: pelaksanaan program kegiatan PSN yang digalakkan oleh pemerintah belum berjalan dengan optimal karena pelaksanaannya belum dilakukan secara rutin oleh seluruh lapisan masyarakat; aplikasi larvasida hanya dilakukan pada saat kejadian KLB dan diberikan di daerah endemis DBD; serta aplikasi *fogging* hanya dilakukan satu kali saja karena keterbatasan anggaran dan cakupan wilayah yang luas (Widiarti et al., 2018).

D. Kesimpulan

Pengendalian vektor terdiri dari banyak metode yang memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Pengendalian secara kimiawi akan efektif dalam menurunkan populasi vektor, tetapi dapat menyebabkan resistansi. Sedangkan pengendalian secara fisik dan biologis, serta penggunaan TSM tidak menyebabkan resistansi tetapi tidak efektif diaplikasikan pada kondisi peningkatan kasus penyakit tular vektor karena membutuhkan waktu yang lebih lama. Dalam aplikasi di lapangan, sebaiknya pengendalian yang dilakukan tidak satu jenis saja, tetapi bersinergi dengan jenis pengendalian yang lain

agar diperoleh hasil yang lebih optimal. Tidak ada jenis pengendalian vektor yang paling baik. Pengendalian vektor bersifat lokal, spesifik, dan harus disesuaikan dengan kondisi daerah, jenis vektor, serta perilaku masyarakatnya. Jenis pengendalian yang dilakukan sebaiknya berdasarkan bionomik vektor yang akan dikendalikan. Pengendalian vektor yang dilakukan dengan dasar bionomik vektor diharapkan dapat memberikan hasil yang lebih optimal.

Referensi

- Adam, M. I. (2018). *Rancang bangun perangkap nyamuk menggunakan metode cockroft walton berbasis tegangan tinggi* [Tesis]. Univeritas Islam Indonesia. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/5885>
- Alphey, L., Benedict, M., Bellini, R., Clark, G. G., Dame, D. A., Service, M. W., & Dobson, S. L. (2010). Sterile-insect methods for control of mosquito-borne diseases: An analysis. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 10(3), 295–311. <https://doi.org/10.1089/vbz.2009.0014>
- Ariati, J., Perwitasari, D., Marina, R., Shinta, S., Lasut, D., Nusa, R., & Musadad, D. A. (2019). Status kerentanan aedes aegypti terhadap insektisida golongan organofosfat dan piretroid di Indonesia. *Jurnal Ekologi Kesehatan*, 17(3), 135–145. <https://doi.org/10.22435/jek.17.3.847.135-145>
- Astin, N., Alim, A., & Zainuddin, Z. (2020). Studi kualitatif perilaku masyarakat dalam pencegahan malaria di Manokwari Barat, Papua Barat, Indonesia. *Jurnal PROMKES*, 8(2), 132–145. <https://doi.org/10.20473/jpk.v8.i2.2020.132-145>
- Astuti, E. P., & RES, R. N. (2011). Efektifitas alat perangkap (trapping) nyamuk vektor demam berdarah dengue dengan fermentasi gula effectiveness of mosquito trap with sugar fermented attractant to the vector of dengue hemorrhagic fever. *ASPIRATOR-Journal of Vector-borne Disease Studies*, 3(1), 41–48. <https://media.neliti.com/media/publications-test/53777-efektifitas-alat-perangkap-trapping-nyam-aac9c525.pdf>
- B2P2VRP. (2017). *Pedoman pengumpulan data vektor (nyamuk) di lapangan*. Salatiga.
- Bartlett, A. C., & Staten, R. T. (2009). The sterile insect release method and other genetic control strategies. *Radcliffe's IPM World Textbook University of Minnesota*. <https://ipmworld.umn.edu/bartlett>

- Blondine, Ch. P., & Widyastuti, U. (2013). Efektivitas bacillus thuringiensis h-14 strain lokal dalam buah kelapa terhadap larva anopheles sp dan culex sp di Kampung Laut Kabupaten Cilacap. *Media Litbangkes*, 23(2), 58–64. <https://media.neliti.com/media/publications-test/20804-efektivitas-bacillus-thuringiensis-h-14-6d4171d9.pdf>
- Boesri, H., Heriyanto, B., Susanti, L., & Handayani, S. W. (2015). Uji repelen (daya tolak) beberapa ekstrak tumbuhan terhadap gigitan nyamuk aedes aegypti vektor demam berdarah dengue. *Vektora: Jurnal Vektor dan Reservoir Penyakit*, 7(2), 79–84. <https://media.neliti.com/media/publications-test/127121-uji-repelen-daya-tolak-beberapa-ekstrak-a6d46563.pdf>
- Dick, V. A., Hendrichs, J., & Robinson, A. S. (2005). *Sterile insect technique principle and practice in area wide integrated pest management*. Springer.
- Dzulkifli, D., & Khansa, F. K. (2022). Rancang bangun perangkat nyamuk otomatis menggunakan sensor suhu dan kelembaban Dht11 berbasis arduino uno. *Inovasi Fisika Indonesia*, 11(2), 28–37. <https://doi.org/10.26740/ifi.v11n02.p28-37>
- Elyazar, I. R. F., Sinka, M. E., Gething, P. W., Tarmidzi, S. N., Surya, A., Kusriastuti, R., Winarno, Baird, J. K., Hay, S. I., & Bangs, M. J. (2013). The distribution and bionomics of anopheles malaria vector mosquitoes in Indonesia. *Advances in Parasitology*, 83, 173–266. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407705-8.00003-3>
- Gionar, Y. R., Rusmiarto, S., Susapto, D., Elyazar, I. R. F., & Bangs, M. J. (2001). Sumur sebagai habitat yang penting untuk perkembangbiakan nyamuk aedes aegypti. *Buletin Penelitian Kesehatan*, 29(1), 22–31. <https://media.neliti.com/media/publications-test/66167-sumur-sebagai-habitat-yang-penting-untuk-3c399f82.pdf>
- Hadi, U. K., Sigit, S. H., Gunandini, D. J., Soviana, S., & Sugiarto, S. (2008). Pengaruh penggunaan repelen masal jangka panjang pada suatu pemukiman terhadap keberadaan nyamuk Aedes aegypti (L.) (Diptera: Culicidae). *Jurnal Entomologi Indonesia*, 5(1), 27–35. <https://doi.org/10.5994/jei.5.1.27>
- Hermawan, A., & Hananto, M. (2020). Faktor sosiodemografi dan perilaku pencegahan gigitan nyamuk terhadap perilaku pemberantasan sarang nyamuk di Indonesia: Analisis lanjut data riskesdas 2018. *Jurnal Ekologi Kesehatan*, 19(2), 101–111. <https://doi.org/10.22435/jek.v19i2.3085>

- Hijroh, H., Bahar, H., & Ismail, C. S. (2017). Perilaku masyarakat dalam pencegahan penyakit demam berdarah dengue (DBD) Puskesmas Puuwatu Kota Kendari tahun 2017. *JIMKESMAS*, 2(6), 1–9. <https://ojs.uho.ac.id/index.php/JIMKESMAS/article/view/2898>
- Hoedoyo, Z. (2000) *Insektisida dan resistensi*. Edisi Ketiga. Balai Penerbit FKUI.
- Kamareddine, L. (2012). The biological control of the malaria vector. *Toxins*, 4(9), 748–767. <https://doi.org/10.3390/toxins4090748>
- Kementerian Kesehatan RI. (2009). *Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia no293/Menkes/SK/IV/2009*. <https://repository.kemkes.go.id/book/1136>
- Kemenkes RI. (2011). *Pedoman penggunaan kelambu berinsektisida menuju eliminasi malaria*. Depkes.
- Kemenkes RI. (2016). *Petunjuk teknis implementasi PSN 3M-Plus dengan gerakan 1 rumah 1 jumantik*. https://www.jumantik.org/images/book/Juknis_1_Rumah_1_Jumantik.pdf
- Kemenkes RI. (2017). *Profil kesehatan Indonesia 2017*. <https://www.kemkes.go.id/id/profil-kesehatan-indonesia-2017>
- Kemenkes RI. (2018). *Profil kesehatan Indonesia 2018*. <https://www.kemkes.go.id/id/profil-kesehatan-indonesia-2018>
- Kemenkes RI. (2020). *Petunjuk teknis pendistribusian dan penggunaan kelambu anti nyamuk*. <https://repository.kemkes.go.id/book/537>
- Kemenkes RI. (2021). *Profil kesehatan Indonesia 2021*. <https://www.kemkes.go.id/id/profil-kesehatan-indonesia-2021>
- Kemenkes RI. (2021). *Strategi nasional penanggulangan dengue 2021-2025*. <https://repository.kemkes.go.id/book/732>
- Kemenkes RI. (2023). *Profil kesehatan Indonesia 2022*. <https://kemkes.go.id/id/profil-kesehatan-indonesia-2022>
- Kobylnski, K. C., Deus, K. M., Butters, M. P., Hongyu, T., Gray, M., Silva, I. M. d., Sylla, M., & Foy, B. D. (2010). The effect of oral anthelmintics on the survivorship and refeeding frequency of anthropophilic mosquito disease vectors. *Acta Tropica*, 116(2), 119–126. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2010.06.001>
- Lima-Camara, T. N., Urbinatti, P. R., & Chiaravalloti-Neto, F. (2016). Finding *Aedes aegypti* in a natural breeding site in an urban zone, Sao Paulo, Southeastern Brazil. *Revista de Saúde Pública*, 50(3), 1–4. <https://doi.org/10.1590/S1518-8787.2016050006245>

- Lok, C. K. (1985). *Singapore's dengue hemorrhagic fever control programme: A case study on the succesful control of aedes aegypti and aedes albopictus using mainly enviromental measurement as a part of integrated vector control*. SEAMIC.
- Lubis, L. Z. (1998). *Pencegahan demam berdarah dengue*. Majalah Kesehatan Nasional.
- McMeniman, C. J., & O'Neill, S. L. (2010). A virulent wolbachia infection decreases the viability of the dengue vector aedes aegypti during periods of embryonic quiescence. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 4(7), 1–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0000748>
- Muchlis, S., Ishak, H., & Ibrahim, E. (2012). Faktor risiko upaya menghindari gigitan nyamuk terhadap kejadian DBD di Puskesmas Pattingalloang Makassar. *Hasanuddin University Repository*, 1–9. <https://core.ac.uk/download/pdf/25495584.pdf>
- Mustafa, M., Saleh, F. M., & Djawa, R. (2018). Penggunaan kelambu berinsektisida dan kawat kasa dengan kejadian malaria di Kelurahan Sangaji. *Media Publikasi Promosi Kesehatan Indonesia (MPPKI)*, 1(3), 93–98. <https://doi.org/10.56338/mppki.v1i3.311>
- Nuraeni, A., Ahmad, R. A., & Utarini, A. (2020). *Aplikasi Wolbachia dalam Eliminasi Dengue*, [Laporan Akhir Penelitian Wold Mosquito Program Yogyakarta]. Pusat Kedokteran TPusat Kedokteran Tropis Fakultas Kedokteran, Kesehatan Masyarakat dan Keperawatan (FKKMK) Universitas Gadjah Mada.
- Oka, I. N. (1995). *Pengendalian hama terpadu*. Gadjah Mada University Press.
- P2PTVZ. (2016). *Laporan situasi terkini perkembangan program pengendalian malaria di Indonesia Tahun 2016*.
- P2PTVZ. (2019). *Laporan situasi terkini perkembangan program pengendalian malaria di Indonesia Tahun 2019*.
- Pates, H., & Curtis, C. (2005). Mosquito behavior and vector control. *Annual Review of Entomology*, 50, 53–70. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.50.071803.130439>
- Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 50 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan untuk Vektor dan Binatang Pembawa Penyakit Serta Pengendaliannya. (2017). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/112145/permenkes-no-50-tahun-2017>

- Prasetyowati, H., Hendri, J., & Wahono, T. (2016). Status resistensi aedes aegypti (linn.) terhadap organofosfat di tiga Kotamadya DKI Jakarta. *Balaba*, 12(1), 23–30. <https://doi.org/10.22435/blb.v12i1.4454.23-30>
- Sadasivaiah, S., Tozan, Y., & Berman, J. G. (2007). Dichlorodiphenyl-trichloroethane (DDT) for indoor residual spraying in Africa: How can it be used for malaria control? *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 77(6). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK1724/>
- Saepudin, M., Hermilestari, A., Suprptono, B., & Kasjono, H. S. (2020). Pengendalian demam berdarah dengue dengan menggunakan model terintegrasi pengendalian vektor total berbasis masyarakat dan sticky autocidal mosquito trap. *Vektora: Jurnal Vektor dan Reservoir Penyakit*, 12(2), 133–146. <https://doi.org/10.22435/vk.v12i2.3597>
- Setiyaningsih, R., Agustini, M., Heriyanto, B., & Santoso, B. (2014). Pengaruh aplikasi teknik serangga mandul (TSM) terhadap sterilitas telur dan penurunan populasi vektor demam berdarah aedes aegypti di daerah sub urban endemis DBD di Salatiga. *Media Litbang Kesehatan*, 24(1), 1–9. <https://doi.org/10.22435/mpk.v24i1.3481.1-9>
- Setiyaningsih, R., Agustini, M., & Rahayu, A. (2015). Pengaruh pelepasan nyamuk jantan mandul terhadap fertilitas dan perubahan morfologi telur aedes aegypti. *Vektora : Jurnal Vektor dan Reservoir Penyakit*, 7(2), 71–78. <https://doi.org/10.22435/vk.v7i2.4506.71-78>
- Setiyaningsih, R., Alfiah, S., AG, T. W., & Heriyanto, B. (2015). Assessment penyakit tular vektor malaria di Kabupaten Banyumas. *Media Litbang Kesehatan*, 25(2), 1–6. <https://repository.badankebijakan.kemkes.go.id/id/eprint/5293/>
- Supartha, I. W. (2008, 5 September). *Pengendalian terpadu vektor virus demam berdarah dengue, Aedes aegypti (Linn.) dan Aedes albopictus (Skuse)(Diptera: Culicidae)*. pp. 1–18. Seminar DiesUnud2008 di Gedung Widya Sabha Fakultas Kedokteran Universitas Udayana, Denpasar.
- Suroso, T. (1984). *Demam berdarah dengue: situasi, masalah dan program pembrantasannya di Indonesia, dalam: Berbagai aspek demam berdarah dengue dan penanggulangannya*. Pusat Penelitian Kesehatan, Lembaga Penelitian Universitas Indonesia.
- Stenn, T., Peck, K. J., Pereira, G. R., & Burkett-Cadena, N. D. (2018). Vertebrate hosts of aedes aegypti, aedes albopictus, and culex quinquefasciatus (diptera: culicidae) as potential vectors of zika virus in Florida. *Journal of Medical Entomology*, 56(1), 10–17. <https://doi.org/10.1093/jme/tjy148>

- Tarumingkeng, R. C. (2008). *DDT dan permasalahannya di abad 21*. Diakses pada tanggal 26 Desember 2008, dari <https://www.rudycet.com/dethh/9.ddt.abad.21.htm>
- TBT, S., & Nalim, S. (2007, 19 Mei). *Pengendalian nyamuk demam berdarah dengue di Indonesia* [Makalah]. Makalah disampaikan dalam Simposium Nasional Demam Berdarah Dengue UGM, Yogyakarta.
- Teixeira, L., Ferreira, Á., & Ashburner, M. (2008). The bacterial symbiont *wolbachia* induces resistance to rna viral infections in *drosophila melanogaster*. *PLoS Biology*, 6(12), 2753–2763. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000002>
- The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) & The International Atomic Energy Agency (IAEA). (1992). *Technical Reports Series No. 336: Laboratory Training Manual on the Use of Nuclear Techniques in Insect Research and Control, Third Edition*. The International Atomic Energy Agency (IAEA). https://www.iaea.org/sites/default/files/21/06/nafa-ipc-manual-el_lab_training_manual.pdf
- WHO. (1980). *Resistance of vectors of disease to pesticides*.
- WHO. (1994). *Guidelines for dengue surveillance and mosquito control*.
- WHO. (2011). *Comprehensive guidelines for prevention and control of dengue and dengue haemorrhagic fever*.
- WHO. (2015). *Indoor residual spraying an operational manual for indoor residual spraying (irs) for malaria transmission control and elimination second edition indoor residual spraying*.
- WHO. (2017). *Global vector control control respon 2017-2030*. WHO & TDR.
- Widiarti, Boewono, D. T., & Mujiono. (2011). Uji biokimia untuk identifikasi mekanisme resistensi ganda vektor malaria terhadap insektisida di Jawa Timur. *Vektora: Jurnal Vektor dan Reservoir Penyakit*, 1(1), 23–33. <https://media.neliti.com/media/publications-test/124503-uji-biokimia-untuk-identifikasi-mekanism-d76e526c.pdf>
- Widiarti, W., Setyaningsih, R., & Pratamawati, D. A. (2018). Implementasi pengendalian vektor dbd di Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Ekologi Kesehatan*, 17(1), 20–30. <https://doi.org/10.22435/jek.17.1.116.20-30>
- World Mosquito Program. (t.t.). Bakteri *wolbachia* turunkan angka kasus DBD. *Idonesia*. <https://www.idonesia.co/index.php/bakteri-wolbachia-turunkan-angka-kasus-dbd>

- Yanti, C. A., Sari, M., & Triana, A. (2022). Daya proteksi serai wangi (*cymbopogon winterianus jowitt*) sebagai repelen dari nyamuk *aedes aegypti*. *Jurnal Vektor Penyakit*, 15(2), 99–106. <https://doi.org/10.22435/vektor.v15i2.5126>
- Yulistyawati, A., Suyono, & Nurullita, U. (2013). Status resistensi *aedes aegypti* terhadap malation di Kota Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 8(1), 1–10. <https://jurnal.unimus.ac.id/index.php/jkmi/article/view/2016>
- Yuniarti, R. A. (2005). Efektivitas vectobac dan predator mesocyclops aspericornis sebagai jasad pengendali hayati jentik *aedes aegypti* dalam gentong air. *YARSI Medical Journal*, 13(1), 1–9. <http://academicjournal.yarsi.ac.id/index.php/jurnal-fk-yarsi/article/view/1057>
- Yuniarti, R. A., & Widyastuti, U. (2000). Kemampuan makan mesocyclops aspericornis terhadap jentik *aedes aegypti* pada medium rendaman seresah salvinia dan rendaman tinja kambing di laboratorium. *Buletin Penelitian Kesehatan*, 27(1), 185–190. <https://media.neliti.com/media/publications-test/20330-kemampuan-makan-mesocyclops-aspericornis-31b542e5.pdf>

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB 3

Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (Analisis Spasial) dalam Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Tular Vektor Nyamuk

Sunaryo¹ dan Mujiyanto¹

A. Pendahuluan

Pencegahan dan pengendalian penyakit tular vektor nyamuk merupakan upaya untuk menekan populasi vektor nyamuk serendah mungkin sehingga keberadannya tidak berisiko untuk terjadinya penularan penyakit di suatu wilayah. Pengendalian vektor dapat dilakukan dengan pengelolaan lingkungan secara fisik atau mekanis, penggunaan agen biotik, kimiawi, baik terhadap vektor maupun tempat perkembangbiakannya dan/atau perubahan perilaku masyarakat serta dapat mempertahankan dan mengembangkan kearifan lokal sebagai alternatif (Permenkes No. 34, 2010). Pendekatan spasial dengan aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) penting dilakukan karena dengan SIG dapat memetakan daerah-daerah yang terkena penyakit, menentukan daerah-daerah yang berisiko tinggi terinfeksi, serta

Sunaryo* & Mujiyanto

*Badan Riset dan Inovasi Nasional, e-mail: aryryo51@gmail.com

©2024 Editor & Penulis

Sunaryo & Mujiyanto. (2024). Pemanfaatan sistem informasi geografis (analisis spasial) dalam pencegahan dan pengendalian penyakit tular vektor nyamuk. Dalam S. P. M. Wijayanti & A. L. Ramadona (Ed.), *Dinamika penyakit tular vektor nyamuk di Indonesia* (55–88). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.1589. c1273 E-ISBN: 978-602-6303-59-2

Buku ini tidak diperjualbelikan.

memberikan informasi yang berguna bagi para ahli kesehatan dalam mengambil keputusan untuk menghadapi suatu wabah penyakit yang ditularkan oleh vektor nyamuk (Hadi et al., 2011; Good Doktor. ID, 2023).

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah sebuah sistem yang digunakan untuk mengelola informasi geografi yang sifatnya menjelaskan suatu keadaan ruang, wilayah, atau yang dikenal dengan istilah spasial. Sistem ini memanfaatkan teknologi informasi untuk mengumpulkan, menyimpan, memproses, menganalisis, dan menampilkan data geografis. SIG merupakan integrasi antara perangkat keras, perangkat lunak, dan data untuk menangkap, mengatur, menganalisis, dan menampilkan semua bentuk geografi yang memberikan informasi. Aplikasi SIG dapat melihat, memahami, bertanya, menerjemahkan, dan menampilkan data dengan banyak cara, seperti hubungan, simbol-simbol, dan tren dalam bentuk peta, laporan, atau grafik (Aronoff, 1989). Seorang ahli dalam kesehatan masyarakat yang dianggap sebagai pelopor berkembangnya penggunaan SIG adalah John Snow yang telah melakukan pemetaan terhadap kasus Kolera di Soho, London pada tahun 1854 sehingga akhirnya dapat menemukan sumber penularan penyakit Kolera (Begum, 2016).

Semakin berkembangnya ilmu pengetahuan maka pelayanan kesehatan dihadapkan pada masalah heterogenitas populasi yang menyebabkan makin kompleksnya penyakit berikut faktor risiko penyebabnya. SIG dapat digunakan untuk menganalisis heterogenitas tersebut, terutama yang berhubungan dengan perbedaan geografis/faktor lingkungan, faktor-faktor demografis, dan budaya (Harimurti, 2007).

Penyakit tular vektor nyamuk terdapat banyak variabel yang dapat dianalisis secara spasial, misalnya dari sisi epidemiologi yang meliputi 5W + 1H : *who, what, when, where, why*, dan *how* dapat dilakukan secara spasial atau keruangan, bahkan dengan menggunakan model spasial dapat memberikan gambaran yang lebih nyata dan mudah dipahami oleh berbagai kalangan, karena analisis dituangkan dalam bentuk peta (Prahasta , 2002). Analisis spasial tersebut menggunakan

teknik persebaran (*density*), tumpang susun (*overlay*), analisis area wilayah penyangga/radius (*buffer*), dan analisis pemodelan baik secara *forecasting* maupun *prediction* sehingga dapat menjawab bagaimana penyakit tular vektor terjadi di suatu wilayah dan apa yang menjadi penyebabnya.

Perkembangan aplikasi Sistem Informasi Geografis telah digunakan pada berbagai disiplin ilmu, termasuk ilmu kesehatan masyarakat, yaitu pada Epidemiologi Spasial (*Spatial Epidemiology*) (Indriasih, 2008). Epidemiologi spasial adalah ilmu untuk mendeskripsikan dan menganalisis keragaman geografis pada penyakit dengan memperhatikan dimensi geografis, lingkungan, perilaku, sosial ekonomi, genetika, dan faktor risiko penularan. Epidemiologi spasial ini menghasilkan pemetaan penyakit (*diseases mapping*), *geographical correlation studies*, *clustering* penyakit, dan *surveillance* (Dirjen P2M & PL, 2001). SIG dalam bidang kesehatan masyarakat dapat digunakan untuk menentukan distribusi geografis penyakit, analisis tren spasial dan temporal, pemetaan populasi berisiko, stratifikasi faktor risiko, penilaian distribusi sumber daya, perencanaan dan penentuan, serta intervensi dan monitoring penyakit. Semakin berkembangnya ilmu pengetahuan maka pelayanan kesehatan dihadapkan pada masalah heterogenitas populasi yang menyebabkan makin kompleksnya masalah penyakit berikut faktor risiko penyebabnya. SIG dapat digunakan untuk menganalisis heterogenitas tersebut, terutama yang berhubungan dengan perbedaan geografis/faktor lingkungan, faktor-faktor demografis, dan budaya (Rahman, 2020).

SIG dilengkapi alat yang memadai/canggih untuk memvisualisasikan dan menganalisis data epidemiologi penyakit tular nyamuk, pengungkapan kecenderungan, ketergantungan, dan hubungan antara faktor risiko dan penyakit tular nyamuk yang sulit ditemukan apabila disajikan dalam format tabel saja. SIG dan epidemiologi memiliki beberapa irisan yang sama, yaitu untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan: *what/who*, *where*, *how* bahkan pertanyaan *why* juga dapat kita jawab dengan melalui analisis spasial. Pertanyaan *where* dapat dijawab dengan tampilan data spasial baik berupa peta ataupun titik

koordinat. Pertanyaan *what/who* diekspresikan dalam bentuk tampilan data-data atribut, berupa jumlah, persentase, prevalensi, ataupun data lain dari suatu populasi, sedangkan *how* dan *why* dapat diperoleh dari analisis data spasial dan data atribut (Vaughan & Morrow, 1989).

SIG pada saat ini telah banyak digunakan oleh ahli kesehatan masyarakat dan epidemiolog, aplikasinya secara umum dalam bidang pencegahan dan pengendalian penyakit tular vektor nyamuk dapat digunakan untuk memvisualisaikan persebaran/distribusi penyakit tular vektor nyamuk (Malaria, Demam Berdarah, Filariasis), mengetahui perkembangan tren suatu penyakit tular vektor nyamuk, mengidentifikasi sumber penularan, pemetaan, dan stratifikasi faktor-faktor risiko lingkungan, menggambarkan kebutuhan dalam pelayanan kesehatan berdasarkan data dari masyarakat dan menilai alokasi sumber daya, meramalkan kejadian wabah, memantau perkembangan penyakit dari waktu ke waktu, dan dapat menempatkan fasilitas dan sarana pelayanan kesehatan yang dapat dijangkau oleh masyarakat. (Departemen Kesehatan RI, 2009).

Hasil analisis pemanfaatan SIG akan sangat menunjang proses pelayanan kesehatan kepada masyarakat, karena dapat digunakan untuk menentukan jenis pelayanan kesehatan seperti apa yang paling sesuai dan dibutuhkan oleh masyarakat, dapat mengidentifikasi aksesibilitas tempat-tempat pelayanan kesehatan masyarakat, bahkan dapat mengetahui kecenderungan penyakit yang terjadi dalam masyarakat tersebut.

B. Manfaat SIG untuk Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Tular Vektor Nyamuk

Pemetaan masalah kesehatan secara manual sudah mulai ditinggalkan sejak perkembangan teknologi pemetaan secara digital banyak digunakan pada institusi kesehatan. Di Indonesia pada saat ini, SIG di bidang kesehatan telah dikenal luas sebagai alat bantu surveilans, memonitor masalah kesehatan berdasarkan lokasi dan waktu, mengidentifikasi dan memprediksi suatu kejadian penyakit berdasarkan

faktor risiko. Secara umum, SIG kesehatan dapat digunakan sebagai sistem kewaspadaan dini penyakit serta untuk proses pengambilan keputusan.

Salah satu perkembangan SIG dalam kesehatan masyarakat yang menarik adalah Epidemiologi Spasial. Menurut Elliot dan Wartenberg (2004) dalam bukunya *Spatial Epidemiology: Current Approaches and Future Challenges*, bahwa Epidemiologi spasial adalah ilmu untuk mendeskripsikan dan menganalisis keragaman geografis pada penyakit dengan memperhatikan dimensi geografis, lingkungan, perilaku, sosial ekonomi, genetika, dan faktor risiko penularan. Epidemiologi spasial ini menghasilkan pemetaan penyakit (*diseases mapping*), studi korelasi geografis (*Geographical Correlation Studies*), pengelompokan penyakit (*Diseases Cluster*), dan surveilans (*Surveillance*).

Berikut ini adalah beberapa contoh pemanfaatan SIG dalam bidang kesehatan masyarakat menurut analisis Center for Disease Control (CDC) (Setyawan, 2014).

- 1) Memonitor status kesehatan untuk mengidentifikasi masalah kesehatan yang ada di masyarakat. Dalam mendukung fungsi ini, SIG dapat digunakan untuk memetakan kelompok masyarakat serta areanya berdasarkan status kesehatan tertentu, misalnya status kehamilan. Dengan SIG, peta mengenai status kesehatan dapat digunakan untuk merencanakan program pelayanan kesehatan yang dibutuhkan oleh kelompok tersebut, misalnya pelayanan antenatal care (ANC), persalinan, dan lain sebagainya.
- 2) Mendiagnosa dan menginvestigasi masalah serta risiko kesehatan di masyarakat. Sebagai contoh, seorang epidemiologis sedang mengolah data tentang kasus malaria yang diperoleh dari rumah sakit, puskesmas, dan pusat-pusat kesehatan lainnya di masyarakat, ternyata dia menemukan terjadi kenaikan kasus yang cukup signifikan di suatu rumah sakit maka kemudian dia mencari tahu data dari pasien-pasien penderita asma di rumah sakit. Ternyata ditemukan bahwa 6 dari 8 orang penderita malaria yang dirawat di rumah sakit tersebut bekerja sebagai petani salak. SIG dapat

digunakan untuk memberikan data yang lengkap mengenai pola penularan di sekitar kebun salak yang merupakan informasi yang penting untuk masyarakat. Informasi ini juga dapat diteruskan kepada ahli-ahli terkait, misalnya entomologi untuk melakukan survei apakah di sekitar kebun salak terdapat vektor penular malaria.

- 3) Menginformasikan, mendidik, dan memberdayakan masyarakat mengenai isu-isu kesehatan. SIG dalam hal ini dapat menyediakan informasi mengenai kelompok masyarakat yang diidentifikasi masih memiliki pengetahuan yang kurang mengenai informasi kesehatan tertentu sehingga kemudian dapat dicari media komunikasi yang paling efektif bagi kelompok tersebut, serta dapat dibuat perencanaan mengenai waktu yang paling tepat untuk melakukan promosi kesehatan kepada kelompok masyarakat tersebut.
- 4) Membangun dan menggerakkan hubungan kerja sama dengan masyarakat untuk mengidentifikasi dan memecahkan masalah kesehatan. Dalam hal ini, SIG dapat digunakan untuk melihat suatu pemecahan masalah kesehatan berdasarkan area tertentu dan kemudian memetakan kelompok masyarakat yang potensial dapat mendukung program tersebut berdasarkan area-area yang terdekat dengannya. Misalnya masalah imunisasi yang ada pada wilayah kerja tingkat RW atau Posyandu maka dapat dipetakan kelompok potensial pendukungnya, yaitu ibu-ibu PKK yang dapat diberdayakan sebagai kader pada posyandu terdekat dengan tempat tinggalnya.
- 5) Membangun kebijakan dan rencana yang mendukung usaha individu maupun masyarakat dalam menyelesaikan masalah kesehatan. Contohnya dalam hal analisis wilayah cakupan puskesmas. Dalam hal ini, SIG digunakan untuk memetakan utilisasi dari tiap-tiap puskesmas oleh masyarakat sehingga dapat dibuat perencanaan yang jelas mengenai sumber daya kesehatan yang perlu disediakan untuk puskesmas tersebut disesuaikan dengan tingkat utilitasnya.

- 6) Membangun perangkat hukum dan peraturan yang melindungi kesehatan dan menjamin keselamatan masyarakat. Dalam hal ini, SIG dapat digunakan untuk membagi secara jelas kewenangan dan tanggung jawab suatu pusat pelayanan kesehatan pada tiap-tiap wilayah kerja dalam menjamin dan menangani segala bentuk masalah yang terjadi di wilayah tersebut. Dengan demikian, manajemen komplain dapat terkoordinasi dengan baik.
- 7) Menghubungkan individu yang membutuhkan pelayanan kesehatan yang dibutuhkan dan menjamin ketersediaan pelayanan kesehatan tersebut jika belum tersedia. Misalnya, seorang warga negara asing diidentifikasi menderita suatu penyakit tertentu yang membutuhkan penanganan yang serius maka untuk mengatasinya, dengan melihat peta dan data akses pelayanan kesehatan yang tersedia dapat dicari tenaga kesehatan terdekat yang dapat membantu orang tersebut, dan menguasai bahasa yang digunakannya. Melalui data SIG juga dapat diketahui bagaimana akses transportasi termudah yang dapat dilalui oleh warga negara asing tersebut menuju fasilitas kesehatan terdekat.
- 8) Menjamin ketersediaan tenaga kesehatan dan ahli kesehatan masyarakat yang berkompeten di bidangnya. Dalam hal ini, SIG dapat menyediakan peta persebaran tenaga kesehatan dan ahli kesehatan masyarakat di tiap-tiap daerah sehingga dapat dilihat jika ada penumpukan atau bahkan kekurangan personel di suatu daerah. Lebih lanjut, data tersebut dapat digunakan dalam hal perencanaan pengadaan tenaga-tenaga kesehatan untuk jangka waktu ke depan untuk masing-masing wilayah.
- 9) Mengevaluasi efektifitas, kemudahan akses, dan kualitas pelayanan kesehatan di masyarakat. Data SIG dapat menyediakan data yang lengkap mengenai potensi tiap-tiap daerah, serta karakter demografis masyarakatnya untuk dihubungkan dengan fasilitas-fasilitas kesehatan yang tersedia dan tingkat utilitasnya. Dengan demikian dapat dievaluasi kembali kesesuaian dan kecukupan dari penyediaan sarana pelayanan kesehatan yang ada.

- 10) Penelitian untuk menciptakan penemuan baru dan inovasi dalam memecahkan masalah-masalah kesehatan di masyarakat. Salah satu kegunaan SIG dalam hal ini adalah untuk menyediakan data yang akurat mengenai perubahan-perubahan yang terjadi di suatu daerah seperti pertambahan jumlah perumahan, jalan, pabrik, atau sarana-sarana lainnya yang berpengaruh pada lingkungan dan berpotensi memengaruhi status kesehatan masyarakat. Data ini kemudian dapat digunakan untuk merancang dan merencanakan inovasi-inovasi tertentu yang dapat menjamin kesehatan suatu masyarakat.

Perkembangan produk teknologi SIG telah banyak beredar di pasar-pasar Indonesia, oleh karena itu harus diimbangi dengan kemampuan pengguna dalam memahami teknologi- teknologi atau konsep-konsep dasar teknologi yang ada sebelumnya. Analisis spasial menggunakan SIG memiliki fungsi dasar dari sebagian besar karakteristik SIG; *visualisasi*, *query* (pemanggilan) data atribut dan spasial, klasifikasi, operasi hitung, operasi tumpang susun, dan fungsi lingkungan seperti wilayah penyangga (*buffering*). Output dalam analisis SIG ini menekankan pada penyediaan lingkungan sederhana untuk melaksanakan analisis eksploratif yang berfokus pada identifikasi wilayah berisiko, pengelompokan kasus, tren waktu, dan analisis komparatif.

Analisis spasial menggunakan SIG dimaksudkan untuk mendukung pengambilan keputusan surveilans dan penanggulangan penyakit. Proses pengambilan keputusan harus benar-benar mengetahui informasi terkini mengenai situasi penyakit, populasi berisiko, dan tren terjadinya kasus di masa datang di wilayahnya. Kebutuhan khusus pada layanan penanggulangan penyakit menular bervariasi sesuai dengan karakteristik epidemiologi dan karakteristik lingkungan. Kita harus benar-benar memahami secara cepat berdasarkan informasi yang ada. Penyediaan informasi terbaru sangat berguna untuk memandu kegiatan di lapangan: siapa yang sakit, kapan dan

di mana mereka tinggal, intervensi apa yang sudah dilakukan serta bagaimana suatu intervensi menjadi efektif walau dengan sumber daya yang terbatas. Dalam rangka pengambilan keputusan penting maka sudah selayaknya para pengambil keputusan memperoleh informasi yang mudah dipahami dan dapat dipercaya. Prinsip dasar analisis spasial epidemiologi penyakit tular vektor nyamuk mencakup hal-hal sebagai berikut (Dapeng, 1992; Sunaryo, 2019):

- 1) menggunakan data epidemiologi surveilans penyakit tular vektor;
- 2) menggunakan indikator seminimal mungkin yang cukup untuk mendukung pengambilan keputusan yang terkait dengan kegiatan surveilans dan penanggulangan penyakit;
- 3) data penyakit tular vektor nyamuk dan jumlah populasi penduduk sampai di tingkat desa yang data surveilans epidemiologi dikumpulkan secara rutin;
- 4) data survei vektor yang meliputi kepadatan spesies vektor dan karakteristik bionomiknya;
- 5) data lingkungan meliputi sebaran habitat perkembangbiakan vektor;
- 6) data kegiatan pemberantasan sarang nyamuk (PSN);
- 7) penggunaan lahan, ketinggian/kontur, dan peta badan air;
- 8) mengalihkan data menjadi representasi visual, seperti peta dan grafik untuk memfasilitasi interpretasi dan perbandingan data;
- 9) membandingkan risiko penyakit menurut tempat dan waktu untuk mengevaluasi dinamika penularan penyakit;
- 10) menilai aksesibilitas pelayanan kesehatan dan penanggulangan penyakit.

Hal terpenting dalam menggunakan data adalah untuk menentukan wilayah mana yang berisiko, dan wilayah mana yang berpotensi terjadinya kasus tinggi sehingga dapat dilakukan tindakan antisipasi/ penanggulangan yang tepat sesegera mungkin.

C. Analisis Model SIG dan Prakiraan Penyakit Tular Vektor Nyamuk

Pemetaan SIG berbasis penyakit tular vektor merupakan salah satu langkah penting dalam perencanaan program penanggulangan penyakit tular vektor. Peta persebaran penyakit tular vektor dapat mengungkap wilayah mana yang berisiko tinggi dan di wilayah mana penularan cenderung terjadi. Pemetaan penyakit tular vektor mencakup pemetaan wilayah risiko penyakit, keberadaan spesies vektor dan persebaran habitatnya, pemetaan berseri/temporal, dan peta stratifikasi endemisitas penyakit (Dapeng, 1992).

Salah satu aspek penting penanggulangan penyakit tular vektor nyamuk adalah identifikasi wilayah dengan risiko penularan tinggi dengan potensi penularan terjadi di masa depan/prediksi (Achmadi, 2005). Pemodelan SIG berdasarkan data lingkungan dapat digunakan untuk mengintegrasikan berbagai data (peta) lingkungan guna mengidentifikasi wilayah dengan risiko tinggi. Sebagai contoh, peta persebaran populasi penduduk dengan peta risiko persebaran DBD berguna untuk menghitung jumlah populasi berisiko. Informasi tersebut penting bagi pemegang program di dinas kesehatan kabupaten/kota untuk mengalokasikan sumber daya kesehatan berdasarkan jumlah populasi berisiko di tingkat puskesmas dan desa.

Beberapa jenis pemetaan untuk menggambarkan informasi spasial penyakit tular vektor nyamuk sebagai berikut.

1) Pemetaan wilayah risiko penyakit

Peta risiko penyakit ini memuat informasi yang diperlukan oleh pengguna untuk menemukan kejadian kasus dan populasi berisiko di tingkat desa. Peta risiko penyakit terbagi dalam dua bentuk, peta titik yang menunjukkan penyebaran kasus penyakit dan *choropleth map* (peta wilayah) yang menunjukkan populasi berisiko penyakit di desa-desa.

2) Pemetaan kasus/penyakit berseri

Kita dapat mencermati dinamika penularan penyakit di suatu wilayah dengan cara melakukan pemetaan insiden penyakit dalam kurun waktu tertentu atau pada bulan-bulan berbeda dalam satu tahun. Analisis ini digunakan untuk menilai apakah pola penyakit konsisten dari waktu ke waktu di kabupaten yang bersangkutan. Jika ternyata konsisten, hal ini menunjukkan agar kegiatan penanggulangan penyakit difokuskan pada wilayah dengan risiko lebih tinggi. Pemetaan ini juga membantu mengidentifikasi fokus penularan setempat, juga untuk menilai efektifitas program penanggulangan penyakit dengan cara mengevaluasi variasi intensitas penularan.

3) Stratifikasi penyakit

SIG memungkinkan adanya stratifikasi yang berkelanjutan dan lebih mudah daripada penggambaran manual. Stratifikasi yang digunakan adalah standar nasional misalnya untuk malaria menggunakan API (annual parasite incidence), sedangkan penyakit lainnya berbeda misalnya demam berdarah menggunakan IR (incidence rate) standar di masing-masing wilayah Provinsi berbeda beda, di Provinsi Jawa Tengah dibuat dua kategori, IR rendah bila kurang dari 40 permill, IR tinggi bila lebih 40 permill.

4) Sebaran vektor

SIG dapat memvisualisasikan keberadaan spesies vektor pada suatu daerah yang biasanya digambarkan dalam bentuk warna yang unik. Bisa juga digambarkan berdasarkan dot/titik, sedangkan gambaran kenampakan habitat perkembangbiakan vektor ditampilkan dalam bentuk keterangan-keterangan yang membedakan, misalnya habitat positif jentik dan negatif, habitat permanen dan nonpermanen.

5) Analisis kinerja surveilans

Pada proses ini, kita dapat menilai kinerja surveilans, yaitu dengan menganalisis hasil cakupan kegiatan, misalnya untuk penyakit tular vektor nyamuk (malaria), kita bisa menilai cakupan jumlah sediaan

darah yang diambil dan jumlah yang diperiksa positif. Aksesibilitas terhadap layanan surveilans dan penanggulangan penyakit tular vektor nyamuk, sebagai alat perencanaan, serta dapat digunakan untuk menilai cakupan layanan surveilans dan penanggulangan penyakit. Radius jarak tertentu (buffering) dapat dihitung pada SIG untuk mengungkapkan wilayah cakupan terhadap layanan tertentu misalnya rumah sakit, puskesmas, dan puskesmas pembantu.

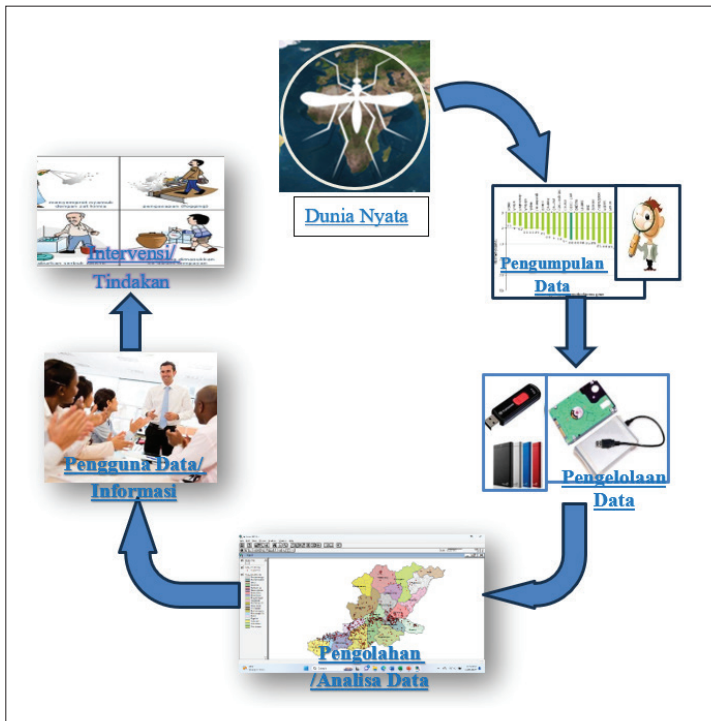
D. SIG untuk Demam Berdarah Dengue (DBD)

SIG penyakit DBD dapat dimanfaatkan di berbagai tingkat, dari tingkat desa, sampai tingkat dunia. Pemetaan SIG pada tingkat kabupaten dimaksudkan untuk mendukung pengambilan keputusan surveilans dan penanggulangan DBD di tingkat kabupaten. Dalam proses pengambilan keputusan, dinas kesehatan kabupaten/kota harus benar-benar mengetahui informasi terakhir mengenai situasi kasus DBD, populasi berisiko, dan tren/penularan di masa datang di wilayahnya. Walaupun telah banyak data yang dikumpulkan baik melalui kegiatan rutin maupun survei khusus, umumnya sintesis informasi dilakukan di tingkat desa dikumpulkan, baru kemudian diteruskan ke tingkat kecamatan dan diteruskan lagi ke tingkat yang lebih tinggi lagi dalam rangkaian sistem pelaporan terpusat. Data dihimpun baik secara manual maupun dengan komputer di beberapa kabupaten. Data dan hasil pengolahan data dipresentasikan dalam bentuk tabel atau angka. Interpretasi data tersebut memakan banyak waktu dan tenaga sehingga terasa menghambat proses pengambilan keputusan.

Kebutuhan khusus bagi layanan penanggulangan DBD bervariasi sesuai dengan perbedaan situasi lingkungan dan epidemiologi. Pelaksana program harus benar-benar memahami tanggung jawabnya secara cepat berdasarkan informasi yang ada. Program harus terus menyediakan informasi terbaru yang akan sangat berguna untuk memandu kegiatan di lapangan: kapan dan di mana harus mengintervensi, intervensi apa yang paling efektif, bagaimana suatu intervensi menjadi layak walaupun dengan sumber daya yang terbatas,

dan seterusnya. Untuk mengambil keputusan-keputusan seperti yang disebutkan tadi, maka sudah selayaknya para pengambil keputusan memperoleh informasi yang mudah dipahami dan dapat dipercaya.

SIG dapat dimanfaatkan sebagai suatu alat yang penting bagi pengambilan keputusan. SIG memberikan informasi yang mudah dipahami dan dapat dipercaya kepada para pengambil keputusan dalam bentuk-bentuk grafik dan peta interaktif. Para pengambil keputusan tidak perlu menyia-nyiakan waktunya yang berharga karena cukup hanya dengan membaca informasi yang tercakup pada peta dan grafik di setiap halaman laporan. Mereka juga memerlukan presentasi singkat mengenai persebaran penyakit agar memperoleh wawasan tentang pola spasial penyakit untuk mendukung “fokus” tanggung



Gambar 3.1 Skema Pengelolaan Data SIG DBD untuk Pengambilan Keputusan

jawab penanggulangan penyakit di wilayahnya. Pengembangan program SIG DBD diharapkan dapat mendukung pengambilan keputusan secara terdesentralisasi melalui “pendekatan informasi terbaru” dalam rangka pemantauan kegiatan surveilans dan penanggulangan DBD, mengetahui dinamika penyebaran dan penularan DBD, dan mengidentifikasi wilayah yang memiliki potensi perjangkitan di masa datang (Gambar 3.1).

E. Sub Sistem Manajemen Data Populasi dan DBD

Data kasus DBD dimasukkan dalam data dasar sebagai data surveilans rutin DBD. Data surveilans tersebut dibutuhkan untuk pengambilan keputusan perencanaan penanggulangan DBD dan pemantauan kinerja sistem surveilans. Semua data dicantumkan pada sistem pelaporan rutin baik secara manual ataupun menggunakan elektronik DBD (E-DBD). Pada prosesnya, data dasar membutuhkan identifier (kode umum) yang digunakan untuk menghubungkan data populasi dan DBD dengan karakteristik geografis, seperti desa, puskesmas, dan lain-lain. Identifier unik yang distandardisasi secara nasional untuk setiap desa atau puskesmas diajukan sebagai kode umum untuk menghubungkan data atribut (populasi dan DBD) dengan karakteristik geografis (peta). Hal ini membantu mengintegrasikan data dasar SIG di kabupaten ke dalam data dasar di provinsi, bahkan pusat, dengan menggunakan identifier nasional.

Sistem surveilans DBD khususnya di wilayah Jawa Tengah dilakukan dengan aplikasi software Diferensial Diagnosa (DD) DBD elektronik, yaitu salah satu aplikasi berbasis excel dengan menggunakan sistem makro (Visual Basic) untuk memverifikasi kasus DBD, membuat laporan, dan menganalisisnya. Output aplikasi Diferensial Diagnosa DBD elektronik membagi diagnosis DBD menjadi demam dengue, demam berdarah dengue, dan syok syndrome dengue. Selain itu, konsep sistem informasi DBD juga berjenjang dari tingkat RS atau puskesmas rawat inap, kabupaten/kota, provinsi, dan pusat.

Meskipun sebagian besar perangkat lunak SIG memiliki kemampuan manajemen data dasar, kami menyarankan adanya suatu sistem

manajemen data dasar generik terpisah sebagai sumber data atribut SIG (data populasi dan DBD di setiap desa). Keuntungan data dasar generik ini adalah bahwa data dasar tidak hanya digunakan dalam pemetaan SIG DBD dalam penilaian hubungan ketergantungan DBD dengan variabel lain dalam SIG, tapi juga memudahkan untuk melakukan analisis statistik lebih lanjut, yang mungkin amat penting untuk mendukung pengambilan keputusan program penanggulangan DBD.

F. Subsistem Manajemen Data Geografis

Peta digital disimpan dengan menggunakan format berdasarkan vektor, dikenal sebagai model “topologi”. Obyek utamanya adalah titik, garis, dan poligon. Titik mewakili satu lokasi; garis (arc) melambangkan suatu karakteristik yang tersusun dari titik-titik yang berurutan; poligon melambangkan wilayah yang dikelilingi oleh garis. Untuk SIG DBD, lokalitas (seperti kota, puskesmas, desa) digambarkan sebagai titik; jaringan transportasi (jalan, jalan raya), jaringan hidrologi dan garis kontur (sungai, anak sungai) digambarkan dengan garis; sedangkan batas desa, kecamatan, dan kabupaten digambarkan sebagai poligon.

Penulisan DBD sangat dipengaruhi oleh lingkungan, seperti bentang wilayah, hidrologi, dan pemanfaatan lahan. Peta pemanfaatan lahan (area pemukiman, perkotaan pedesaan) dan hidrologi akan diintegrasikan ke dalam SIG. Data lingkungan akan membantu pengambil keputusan dalam mempelajari pola penyebaran spasial DBD. Peta jaringan jalan juga akan diintegrasikan dalam SIG DBD, yang akan membantu dinas kesehatan kabupaten/kota dalam menilai pemberian layanan kesehatan dalam program surveilans dan penanggulangan DBD. Tabel 3.1 memuat data geografis (peta) untuk dimasukkan dalam SIG DBD. Skala peta dasar sebenarnya harus sama dengan atau lebih dari 1:25.000 sehingga posisi desa dapat diketahui pada peta. Semua peta dasar harus distandarisasi dan diproyeksikan bagi sistem koordinat umum sehingga peta tersebut akan saling bersesuaian satu sama lain.

Tabel 3.1 Data Kasus DBD dan Peta Populasi dalam SIG DBD

Daftar Data Atribut	Daftar Peta
Jumlah penduduk desa	Peta titik desa
Jumlah kasus DD	Peta titik rumah sakit
Jumlah kasus DBD	Peta titik puskesmas
Jumlah kasus DSS	Peta batas desa
Jumlah kasus positif DBD jenis kelamin	Peta batas kecamatan
Jumlah kasus positif DBD kelompok umur	Peta pemanfaatan lahan
Jumlah kasus indigenous	Peta topografi
Jumlah kasus import	Peta hidrologi
Daftar RS dan Puskesmas perawatan	Peta jaringan jalan raya

G. Subsistem Analisis dan Pemanggilan Data

SIG DBD memiliki fungsi dasar dari sebagian besar karakteristik SIG; visualisasi, *query* (pemanggilan) data atribut dan spasial, klasifikasi, operasi hitung, operasi tumpang susun, dan fungsi lingkungan, seperti wilayah penyangga (*buffering*).

H. Pilihan Perangkat Lunak SIG

Perkembangan penggunaan aplikasi SIG sampai saat ini mengalami perkembangan yang sangat cepat. Semuanya memiliki kelebihan dan keterbatasan, baik yang berbayar maupun *open source*. Aplikasi SIG berbayar yang populer digunakan oleh pengguna sebagian besar dari perusahaan ESRI, yaitu ArcView GIS, ArcMap, dan sekarang ArcGIS Pro, sedangkan untuk aplikasi SIG yang tidak berbayar dan terus dikembangkan oleh para penggunanya adalah Quantum GIS (QGIS). Quantum GIS dapat diperluas melalui penggunaan plugin (tambahan perangkat lunak yang memungkinkan penyesuaian program komputer, aplikasi, dan browser). Ada banyak plugin tersedia yang dapat ditambahkan ke perangkat lunak untuk memperluas fungsionalitasnya. Plugin ini memungkinkan pengguna untuk mengakses

Buku ini tidak diperjualbelikan.

alat-alat tambahan, fungsi analisis khusus, dan sumber daya data tambahan. Beberapa aplikasi tersebut baik yang berbayar maupun *open source*, mudah dipelajari dengan fasilitas display berefek visual tinggi sehingga dapat digunakan untuk memengaruhi para pengambil keputusan agar lebih mendukung kegiatan surveilans dan program penanggulangan penyakit tular vektor nyamuk (Malaria, DBD). Selain itu, software ini juga memiliki sistem manajemen data dasar yang andal yang dapat mengakomodasi data multisektor menjadi platform yang umum untuk dianalisis. Software ini juga memiliki semua fungsi analisis spasial yang diperlukan untuk SIG penyakit tular vektor nyamuk yang dilakukan sekarang ini.

I. Output SIG DBD

Penggunaan SIG dalam bidang kesehatan masyarakat terhitung hal baru, walaupun telah banyak digunakan di bidang lain, seperti manajemen kehutanan, pertanian, pemasaran, dan fenomena iklim. Salah satu masalah penting dalam pengoperasian SIG DBD adalah mendefinisikan output SIG DBD. Para profesional SIG biasanya tidak tahu banyak tentang kegiatan surveilans dan penanggulangan DBD serta informasi apa yang sangat penting dalam pengambilan keputusan. Pengelola program DBD umumnya kurang memahami fungsi SIG. Kondisi ini merupakan kesenjangan yang terjadi antara para ahli SIG dan para pengelola program DBD. Oleh karena itu, perlu dirancang standar output SIG DBD agar menghasilkan informasi sebagai bahan pengambilan keputusan. Data DBD dianalisis dengan menggunakan SIG agar menghasilkan output sebagai suatu studi kasus, hal ini menjadi contoh bagaimana cara menggunakan output SIG untuk mendukung pengambilan keputusan kegiatan surveilans dan penanggulangan DBD. Output Gis DBD ini tergambar pada Tabel 3.2. Output ini menekankan pada penyediaan lingkungan sederhana untuk melaksanakan analisis eksploratif yang berfokus pada identifikasi wilayah berisiko, pengelompokan kasus, tren waktu, dan analisis komparatif.

Tabel 3.2 Output GIS DBD Terstandarisasi dan Perannya dalam Mendukung Pengambilan Keputusan Penanggulangan DBD.

Produk GIS DBD	Tujuan
Pemetaan DBD	
<ul style="list-style-type: none">• Risiko DBD (peta titik dan wilayah)• Peta Stratifikasi DBD• Pemetaan berseri DBD• Peta tematik menunjukkan risiko DBD, Landuse, jalan raya, dan lain-lain	<ol style="list-style-type: none">1. Pola penyebaran DBD2. Tren DBD dari waktu ke waktu3. Identifikasi wilayah risiko tinggiIdentifikasi perjangkitan DBD4. Menilai efektifitas program penanggulangan DBD5. Merencanakan program Penanggulangan DB
Layanan Surveilans & Penanggulangan DBD	
<ul style="list-style-type: none">• Membuat wilayah <i>buffer</i> di sekeliling RS untuk menilai aksesibilitas surveilans dan penanggulangan DBD	<ol style="list-style-type: none">1. Analisis aksesibilitas2. Merencanakan layanan penanggulangan DBD3. Merencanakan kegiatan penanggulangan DBD
Model GIS dan Prakiraan DBD	
<ul style="list-style-type: none">• Menyusun peta kerawanan DBD berdasarkan model Fuzzy• Peta prakiraan risiko DBD tumpang susun dengan peta risiko DBD• Pemetaan populasi berisiko	<ol style="list-style-type: none">1. Prediksi risiko DBD2. Prakiraan perjangkitan DBD3. Pemetaan populasi berisiko4. Merencanakan kegiatan surveilans5. Merencanakan layanan kesehatan

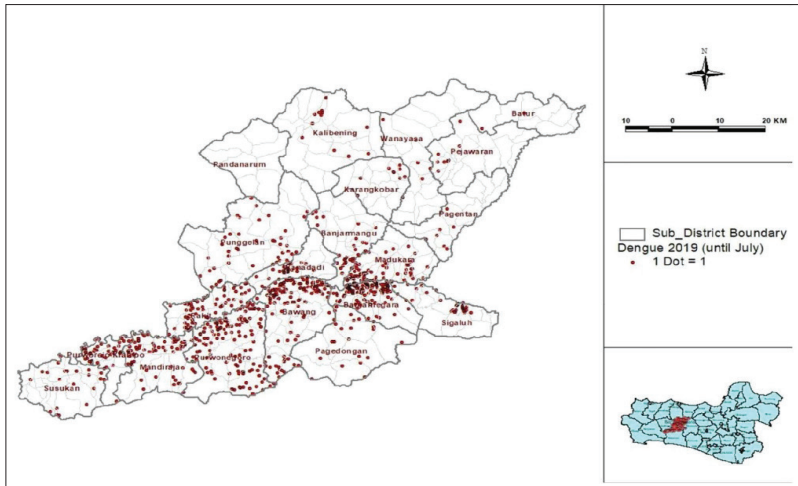
Langkah-langkah produksi output untuk studi kasus sebagai berikut.

1) Pemetaan DBD

Pemetaan DBD telah lama dianggap sebagai salah satu langkah penting dalam perencanaan program penanggulangan DBD. Peta sketsa DBD sederhana dapat mengungkap wilayah mana yang berisiko tinggi, di wilayah mana penularan cenderung terjadi, dan di wilayah mana penularan tidak terjadi. Informasi sederhana akan membantu dinas kesehatan kabupaten/kota untuk mengidentifikasi wilayah mana yang harus diwaspadai dan ke wilayah mana penanggulangan DBD harus difokuskan sehingga manfaat dapat diperoleh secara maksimal. Pemetaan DBD mencakup pemetaan risiko DBD, pemetaan DBD berseri, dan peta stratifikasi DBD.

2) Pemetaan risiko DBD

Peta risiko DBD pada SIG DBD ini memuat informasi yang diperlukan oleh pengguna untuk menemukan kejadian kasus dan populasi berisiko di tingkat desa. Peta risiko DBD terbagi dalam dua bentuk, peta titik yang menunjukkan penyebaran kasus DBD dan *chloropleth map* (peta wilayah) yang menunjukkan populasi berisiko DBD di desa-desa. Pembuatan peta risiko sebaran DBD idealnya pada saat pengumpulan data kasus DBD dilakukan tracking/kunjungan ke lokasi kasus dengan melakukan pengukuran titik koordinat kasus DBD menggunakan *Global Positioning System* (GPS). Penggunaan GPS dapat digantikan dengan aplikasi GPS yang ada di handphone. Sebaran kasus DBD menggunakan titik koordinat dapat menggambarkan sebaran epidemiologi kasus DBD pada posisi sebenarnya, sedangkan pada sebaran kasus DBD berdasarkan wilayah menunjukkan tingkat risiko berdasarkan wilayah administrasi (desa, kecamatan). Pada Gambar 3.2, terlihat bahwa kasus DBD di Kabupaten Banjarnegara tersebar hampir di setiap kecamatan, tetapi ada beberapa kecamatan yang paling berisiko, yaitu pada wilayah tengah Kabupaten Banjarnegara, meliputi wilayah Kecamatan Banjarnegara, Kecamatan Bawang, dan Kecamatan Purwonegoro.

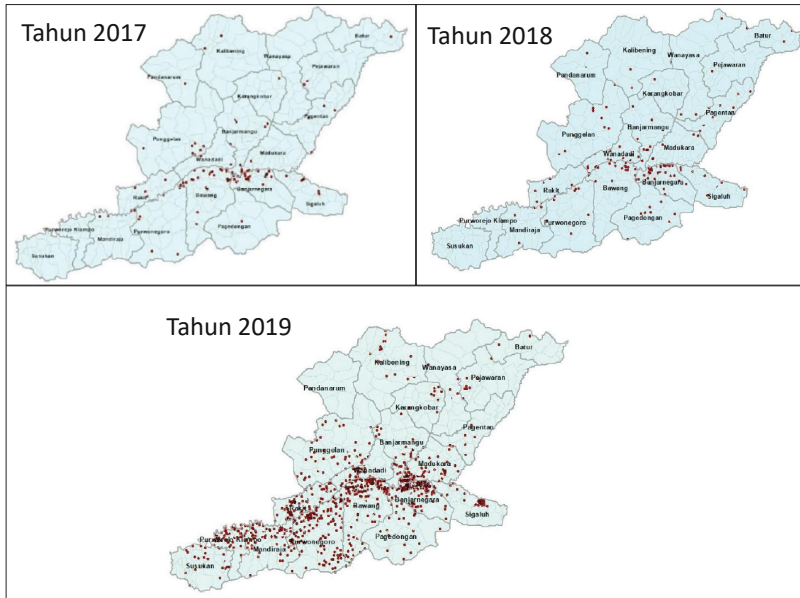


Sumber: Hasil Pemetaan SIG data E-DBD Kab. Banjarnegara tahun 2017–2019

Gambar 3.2 Peta Wilayah Berisiko DBD di Kabupaten Banjarnegara Tahun 2019

b. Pemetaan DBD Berseri

Dinas Kesehatan Kabupaten dapat mencermati dinamika penularan DBD di kabupatennya dengan cara melakukan pemetaan insiden DBD dalam kurun waktu tertentu atau pada bulan-bulan berbeda dalam satu tahun. Analisis ini digunakan untuk menilai apakah pola penyakit konsisten dari waktu ke waktu di kabupaten yang bersangkutan. Jika ternyata konsisten, hal ini menunjukkan agar kegiatan penanggulangan DBD difokuskan pada wilayah dengan risiko lebih tinggi. Pemetaan ini juga membantu Dinas Kesehatan mengidentifikasi fokus penularan DBD indigenous, juga untuk menilai efektifitas program penanggulangan DBD dengan cara memonitor dan mengevaluasi variasi intensitas penularan DBD. Pemetaan berseri bisa dibuat bulanan, pola musiman, atau tahunan. Pada Gambar 3.3 persebaran kasus DBD di Kabupaten Banjarnegara meningkat dari tahun 2017–2019. Peningkatan kasus berseri dari tahun 2017–2019 terlihat bahwa indeks kasus DBD berasal dari wilayah Kutabanjarnegara, yaitu Kecamatan Banjarnegara.



Sumber: Hasil Pemetaan SIG data E-DBD Kab. Banjarnegara tahun 2017–2019

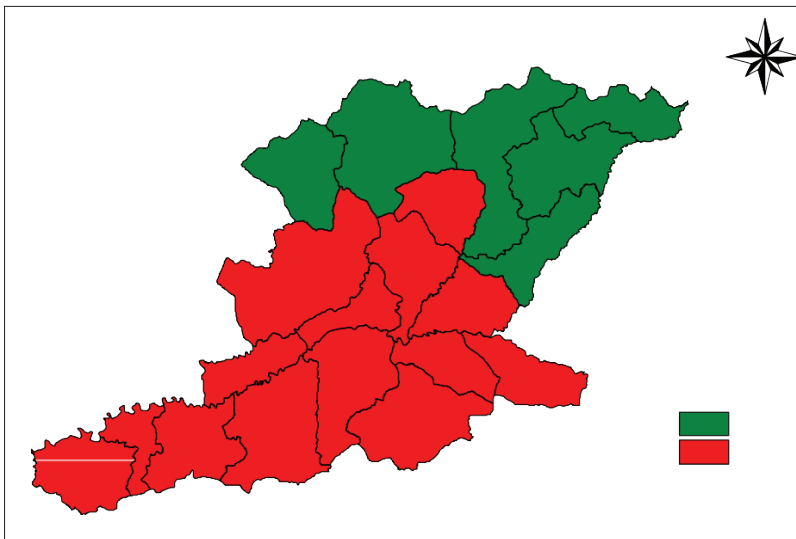
Gambar 3.3 Peta Sebaran Demam Berdarah Dengue Berseri di Kabupaten Banjarnegara Tahun 2017–2019

c. Peta Stratifikasi DBD

Penanggulangan DBD sebaiknya dilaksanakan di wilayah yang berisiko lebih tinggi. Stratifikasi DBD dapat membantu pemegang program Dinas Kesehatan Kabupaten untuk memutuskan ke mana sumber daya yang terbatas harus diprioritaskan untuk mengatasi masalah sehingga manfaat yang maksimal dapat diperoleh. Meski demikian, situasi DBD yang kadang-kadang berubah-ubah mengharuskan adanya stratifikasi yang dinamis dan berkelanjutan, serta mampu menyesuaikan diri dengan segala kemungkinan. Pada praktiknya, stratifikasi DBD pada kondisi situasi statis dan sering kali digunakan berulang-ulang dan mengabaikan situasi DBD yang telah berubah. Hal ini dapat dimengerti karena dibutuhkan waktu yang cukup lama untuk mengumpulkan, menganalisis, dan mempresentasikan data, khususnya untuk menggambarkan strata dalam suatu peta.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Karakteristik digital pada data dasar SIG sangat membantu perbaruan data penyebaran DBD di komputer. Sistem Informasi Geografis memungkinkan adanya stratifikasi yang berkelanjutan dan lebih mudah daripada penggambaran manual. Kriteria stratifikasi DBD pada buku ini mengacu pada kriteria Nasional IR tahun 2021. Indikator IR DBD > 27 per 100.000 penduduk dikelompokkan menjadi wilayah dengan insiden IR tinggi (*High Incidence Rate*), sedangkan IR < 27 per 100.000 penduduk dikategorikan rendah atau LIR (*Low Incidence Rate*). Pada Gambar 3.4, terlihat bahwa strata *incidence rate* DBD tinggi di Kabupaten Banjarnegara pada tahun 2019 cenderung terjadi di wilayah bagian tengah dan barat daya Kabupaten Banjarnegara. Pada wilayah bagian utara *incidence ratenya* rendah. Hal tersebut bisa dihubungkan bahwa pada bagian Utara pada umumnya merupakan daerah ketinggian di atas 600 m dari permukaan laut.

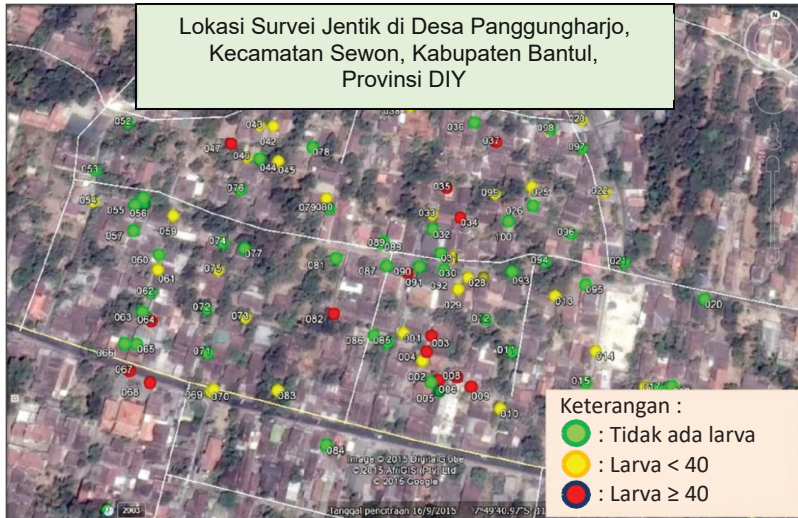


Sumber: Hasil Pemetaan SIG data E-DBD Kab. Banjarnegara tahun 2017–2019

Gambar 3.4 Peta Stratifikasi *Incidence Rate* DBD Kabupaten Banjarnegara Tahun 2019

J. Peta Surveilans Vektor DBD

Kegiatan surveilans vektor dapat dipetakan dengan dua cara, yaitu dengan menggunakan SIG dan penginderaan jauh/citra dengan Google Earth (program komputer yang merender representasi 3D Bumi berdasarkan citra satelit). Pemetaan dengan SIG akan memvisualisasikan sebaran jentik hasil survei berupa titik yang berbeda warna, sedangkan pemetaan menggunakan Google Earth lebih real karena persebaran rumah yang positif dan yang negatif jentiknya bisa lebih jelas, bahkan bisa dikategorikan jumlah/banyaknya jentik yang tertangkap (Gambar 3.5). Pemetaan surveilans vektor DBD akan membantu puskesmas dan dinas kesehatan kabupaten/kota untuk mengetahui sebaran vektor DBD dan dapat dikaitkan dengan sebaran kasus DBD di wilayah tersebut dengan mengoverlaykan dengan variabel kasus DBD dengan visualiasi/identitas lain sehingga dapat diketahui apakah di sekitar kasus DBD juga banyak jentiknya. Pemetaan selanjutnya dapat dilakukan pengujian transovari pada jentik/larva untuk mengetahui apakah jentik yang tertangkap sudah bervirus atau belum. Apabila dinas kesehatan kabupaten/kota akan melakukan tindakan evaluasi pengendalian vektor, bisa melakukan pengujian resistansi pada wilayah tersebut sehingga bila dalam satu wilayah kabupaten melakukan beberapa lokasi survei jentik, hasil pengujian resistansi dapat dipetakan berdasarkan status resistansinya. Pada Gambar 3.5 kenampakan persebaran jentik *Aedes aegypti* hasil survei jentik pada citra satelit menunjukkan bahwa keberadaan jentik di wilayah Desa Panggungharjo, Sewon Kabupaten Bantul hampir ditemukan pada setiap blok perumahan. Pada blok perumahan bagian tengah, ada yang ditemukan jentik *Aedes aegypti* dengan kepadatan tinggi (>40 jentik).

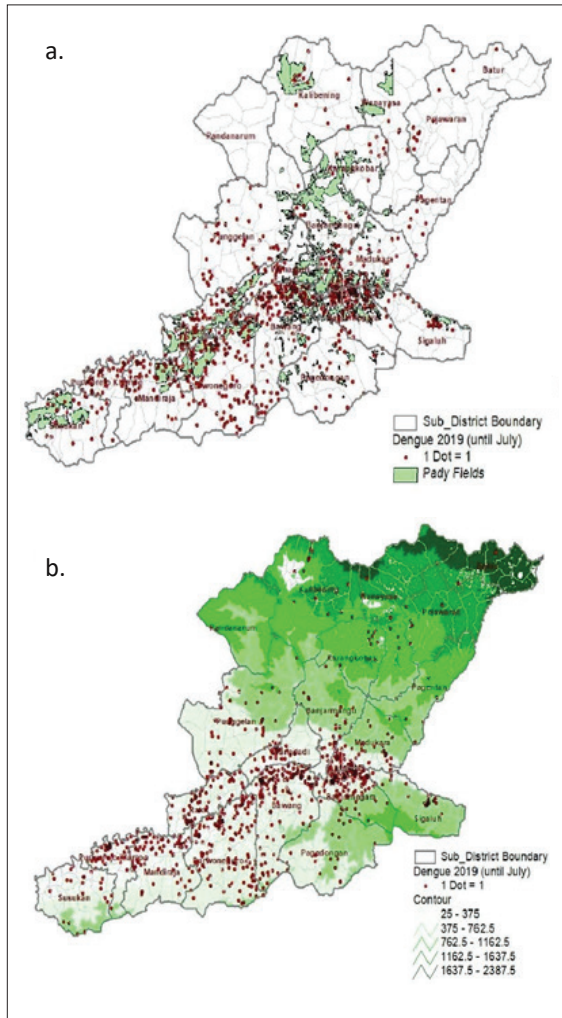


Sumber: Hasil riset pemetaan resistansi *Aedes aegypti* tahun 2015 di Desa Panggungharjo, Kecamatan Sewon, Kabupaten Bantul, Provinsi DIY.

Gambar 3.5 Pemetaan Sebaran Survei Jentik Menggunakan Citra Google Earth

K. Penggunaan SIG Untuk Mempelajari Pola Spasial DBD

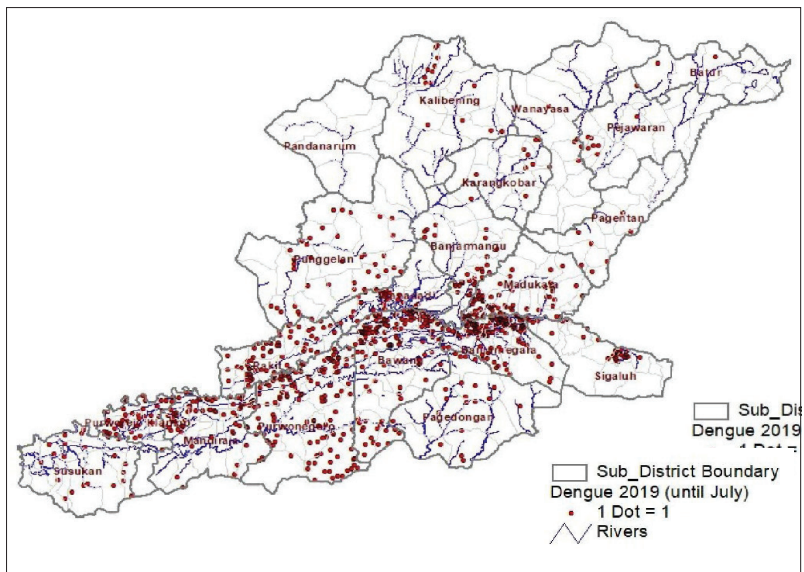
Pengelola Program DBD di dinas kesehatan kabupaten/kota mungkin ingin mengetahui mengapa insiden DBD terjadi dengan konsisten di beberapa desa. Peta risiko DBD yang dibuat secara tumpang susun/*overlay* di atas peta tata ruang, dan *land use* di atas peta topografi dan hidrologi akan memberikan informasi yang berharga untuk mencermati keterkaitan antara DBD dan variabel lingkungan. Dengan demikian, pengelolaan lingkungan dapat dilakukan untuk menghasilkan efek berkelanjutan dari program penanggulangan DBD. DBD umumnya tersebar di daerah perkotaan dan pemukiman dekat persawahan dengan kontur dataran rendah antara 50–300 mdpl, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 3.6.



Keterangan: (a) Peta sebaran DBD *overlay* dengan penggunaan lahan persawahan dekat pemukiman dan (b) Sebaran DBD dengan kontur ketinggian tempat di Kabupaten Banjarnegara.

Sumber: Hasil pemetaan SIG data E-DBD Kab. Banjarnegara tahun 2017–2019.

Gambar 3.6 Peta Sebaran DBD Kab. Banjarnegara Tahun 2017–2019



Sumber: Hasil Pemetaan SIG data E-DBD Kab. Banjarnegara Tahun 2017–2019

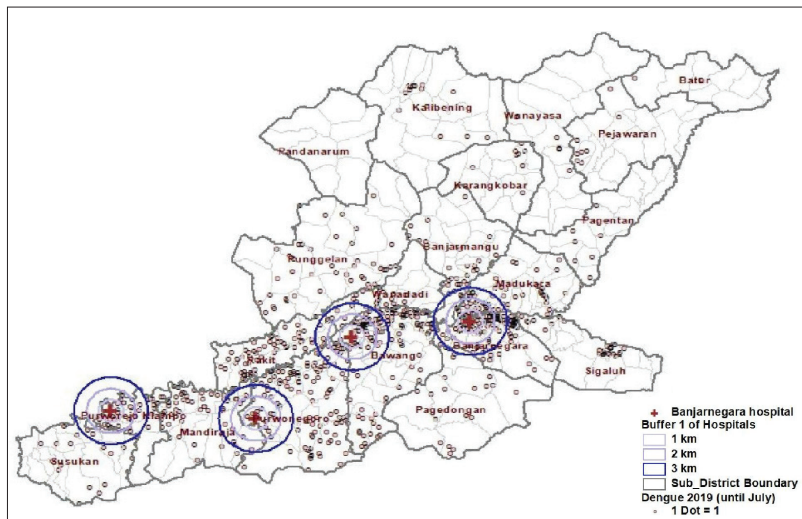
Gambar 3.7 Peta Sebaran Kasus DBD Dekat Aliran Sungai di Wilayah Kabupaten Banjarnegara

Gambar 3.7 menunjukkan bahwa desa-desa di sepanjang aliran sungai berisiko tinggi DBD. Pada kondisi ini, secara teknis memang tidak ada hubungan langsung antara keberadaan sungai dengan persebaran DBD, karena habitat nyamuk penular DBD/*Aedes aegypti* tidak suka pada air yang tergenang berhubungan langsung dengan tanah. Namun demikian, faktor lain yang bisa dilihat adalah apakah sungai tersebut dekat dengan pemukiman atau tidak, dengan keberadaan sungai di dekat pemukiman akan berpengaruh pada meningkatnya kelembapan, hal tersebut menjadikan kehidupan *Aedes* spp. lebih eksis.

L. Aksesibilitas terhadap Layanan Surveilans dan Penanggulangan DBD

Sebagai alat perencanaan, SIG DBD dapat digunakan untuk menilai cakupan layanan surveilans dan penanggulangan DBD. Penilaian atas

program penanggulangan DBD dapat dilakukan dengan membagi-bagi lokasi desa dan kemudian menyusun fasilitas kesehatan yang memberikan layanan penanggulangan dan surveilans DBD. Penggunaan SIG dalam penanggulangan DBD di rumah sakit, dalam hal ini rumah sakit yang melakukan penanganan dan pengobatan DBD Rawat Inap dari kegiatan rujukan puskesmas dan kunjungan langsung pasien DBD. Radius jarak tertentu (*buffering*) dapat dihitung pada SIG untuk mengungkapkan wilayah cakupan pelayanan rumah sakit terhadap persebaran kasus DBD. Di Kabupaten Banjarnegara, wilayah cakupan adalah 3 km untuk RS. Gambar 3.8 menunjukkan peta wilayah dari Rumah Sakit di Banjarnegara yang terdiri dari Rumah Sakit Umum Hj. Lasmana (Kota Banjarnegara), Rumah Sakit Islam Bawang (Bawang), Rumah Sakit Umum Muhammadiyah (Purwanegara), dan Rumah Sakit Emanuel (Klampok). Pada radius maksimal 3 km, sebaran kasus DBD banyak terjadi di rumah sakit perkotaan. Gambaran sebaran kasus menggunakan analisis buffer sebaiknya menggunakan sebaran kasus berdasarkan koordinat posisi sehingga penggambarannya lebih realitas, dibandingkan bila sebaran kasus berdasarkan wilayah desa.



Sumber: Hasil Pemetaan SIG Data E-DBD Kab. Banjarnegara Tahun 2017–2019

Gambar 3.8 Jarak antara Fasilitas Pelayanan Kesehatan (Rumah Sakit) dan Sebaran Kasus DBD di Kabupaten Banjarnegara.

M. Pemodelan SIG untuk Kerawanan DBD dengan Logika Fuzzy

Salah satu aspek penting penanggulangan DBD adalah identifikasi wilayah dengan risiko penularan tinggi dengan potensi perjangkitan di masa depan. Model SIG berdasarkan data lingkungan dapat digunakan untuk mengintegrasikan berbagai data (peta) lingkungan guna mengidentifikasi wilayah dengan risiko tinggi. Selanjutnya, wilayah akan memiliki potensi tinggi terjangkit DBD di masa mendatang jika sumber-sumber penularan memasuki wilayah tersebut (hal ini bisa terjadi karena populasinya sangat tersebar luas di seluruh Indonesia). Salah satu pemodelan SIG adalah penggunaan logika fuzzy untuk mengkaji demam berdarah. Pemodelan ini pernah dilakukan oleh Adzan dan Danoedoro (2012). Langkah-langkah untuk pemodelan Fuzzy sebagai berikut.

1) Fuzifikasi

Setiap parameter penentu kerawanan DBD diubah dalam rentang nilai fuzzy (0–1). Dalam proses fuzifikasi, semua parameter menggunakan fungsi keanggotaan linier. Kurva linier merepresentasikan peningkatan nilai derajat keanggotaan seiring meningkatnya nilai variabel.

2) Fuzzy Overlay

Analisis Fuzzy Overlay dilakukan untuk mengetahui tingkat kerawanan DBD berdasarkan indikator penentu kerawanan DBD (yang telah difuzifikasi). Analisis Fuzzy Overlay akan menghasilkan keluaran tingkat kerawanan DBD, secara fuzzy pula dengan rentang derajat keanggotaan 0–1, makin mendekati nilai derajat keanggotaan 1 maka tingkat kerawanan makin tinggi, begitu pula sebaliknya. Hasil dari fuzzy overlay akan dilakukan proses uji akurasi pemodelan. Uji akurasi dilakukan dengan analisis korelasi *product* momen, antara hasil pemodelan dan data wilayah yang terdapat kasus DBD.

3) Defuzifikasi

Defuzifikasi adalah proses pengklasifikasikan untuk mengembalikan nilai hasil fuzzy overlay ke dalam bentuk yang tegas (*crisp*) sehingga

pemodelan yang dibuat menjadi lebih mudah untuk dipahami. Proses defuzifikasi dilakukan dengan mengategorikan nilai hasil fuzzy overlay ke dalam 3 (tiga) tingkat kelas kerawanan. Variabel lingkungan yang digunakan untuk menentukan model kerawanan DBD, makin lengkap variabel yang digunakan makin sensitif model yang kita buat. Model kerawanan di bawah ini menggunakan 4 variabel sebagai berikut.

a) Curah Hujan

Penularan demam berdarah dengue pada umumnya terjadi pada awal musim hujan (permulaan tahun dan akhir tahun). Hal ini dikarenakan pada musim hujan vektor penyakit demam berdarah (*Aedes spp.*) populasinya meningkat dengan bertambah banyaknya habitat nyamuk di luar rumah sebagai akibat sanitasi lingkungan yang kurang bersih, pada musim kemarau *Aedes spp.* bersarang di bejana yang selalu terisi air, seperti bak mandi, tempayan, drum, dan penampungan air. Proses spasialisasi data dilakukan dengan metode interpolasi. Interpolasi adalah metode untuk mendapatkan data berdasarkan beberapa data yang telah diketahui. Metode interpolasi yang digunakan adalah Inverse Distance Weighted (IDW). Metode IDW merupakan metode interpolasi konvensional yang memperhitungkan jarak sebagai bobot. Jarak yang dimaksud di sini adalah jarak (datar) dari titik data (sampel) terhadap blok yang akan diestimasi. Jadi, makin dekat jarak antara titik sampel dan blok yang akan diestimasi, maka makin besar bobotnya, begitu juga sebaliknya (Hadi, 2013).

b) Kepadatan Permukiman

Kepadatan permukiman adalah salah satu indikator dalam penentuan tingkat kerawanan DBD. Boekoesoe (2013) menyatakan bahwa penyebaran populasi *Aedes aegypti* erat kaitannya dengan perkembangan permukiman penduduk akibat didirikannya rumah-rumah baru yang dilengkapi sarana pengadaan dan penyimpanan air untuk keperluan sehari-hari. Terdapat keterkaitan antara pola/tata letak permukiman dan perkembangan nyamuk *Aedes aegypti*, asumsinya bahwa pada daerah yang permukimannya padat dan tidak teratur menyebabkan kendala seperti saluran pembuangan limbah dan saluran

air hujan yang tidak memadai, banyak rumah yang asal membangun sehingga tidak terdapat cukup cahaya masuk. Hal ini mengakibatkan kelembapan udara tinggi yang mempermudah perkembangbiakan nyamuk *Aedes aegypti*.

c) Ketinggian Tempat

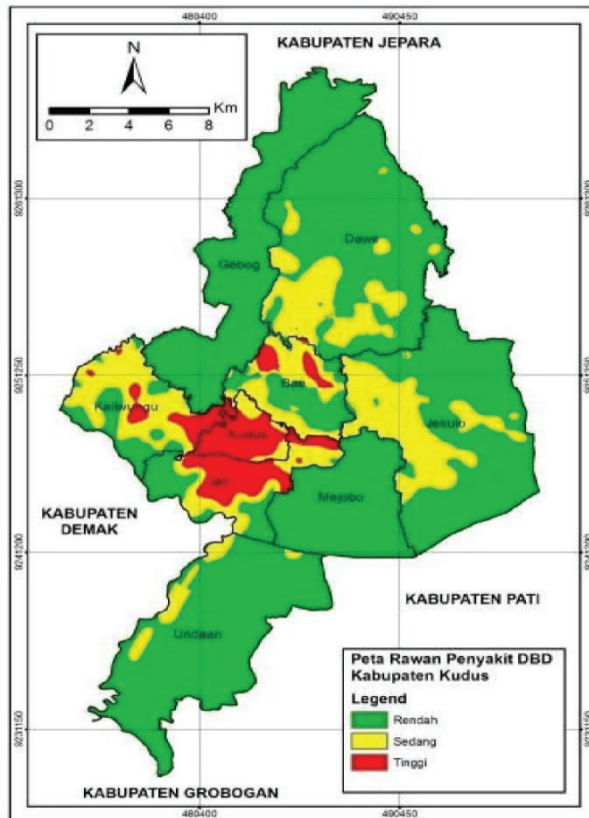
Faktor ketinggian tempat memengaruhi penyebaran penyakit DBD. WHO (2009) menyatakan bahwa nyamuk *Aedes aegypti* dapat berkembang dengan baik pada ketinggian di bawah 1.000 meter di atas permukaan laut. Informasi ketinggian tempat berasal dari data DEM ASTER GDEM dengan resolusi 30 m. Data DEM ASTER GDEM kemudian dilakukan proses reklasifikasi sehingga dengan tegas dapat dibedakan wilayah mana yang mempunyai ketinggian di atas 1.000 m dan di bawah 1.000 m.

d) Sumber Penyediaan Air

Beberapa faktor lingkungan memengaruhi penyebaran penyakit DBD, seperti penyediaan air bersih dan sanitasi. Sistem penyediaan air di tingkat rumah tangga berpengaruh langsung pada kepadatan vektor DBD (Kesmas, 2015). Jika sistem itu telah meminimalisasi tempat penampungan air, misalnya karena sudah menggunakan jaringan perpipaan, sangat dimungkinkan kepadatan vektor juga akan menurun. Sebagaimana kita ketahui, tempat-tempat penampungan air (kontainer) pada tingkat rumah tangga menjadi tempat kehidupan telur, larva, pupa *Aedes* spp. Data tersebut menunjukkan sumber air yang digunakan setiap kepala keluarga (KK) di mana sumber penyediaan air yang digunakan dalam pembuatan model spasial ini adalah sumber penyediaan air, yang meliputi sumur galian, sumur bor, mata air, dan penampungan air hujan. Data tersebut kemudian dimasukkan dalam data atribut tiap kecamatan di Kabupaten Kudus dan dikonversi dalam bentuk raster.

Hasil fuzzifikasi adalah indeks fuzzy yang menunjukkan derajat kerawanan DBD di setiap indikatornya. Nilai yang makin dekat dengan 1 diasumsikan memiliki kontribusi dalam tingkat kerawanan DBD.

Hasil fuzifikasi terlihat semua indikator memiliki nilai tertinggi, yaitu 1. Hal ini menunjukkan bahwa semua indikator memiliki pengaruh yang sama dalam penentu tingkat kerawanan DBD (Gambar 3.9).



Sumber: Hasil Penelitian Trida RF Pemodelan spasial kerawanan penyakit Demam Berdarah (DBD) menggunakan Logika Fuzzy di Kabupaten Kudus (2017)

Gambar 3.9 Contoh Peta Kerawanan DBD Menggunakan Pemodelan Fuzzy

N. Penutup

Makalah ini membahas berbagai aspek terkait pemanfaatan SIG untuk pencegahan dan pengendalian penyakit tular vektor nyamuk. Kami telah menunjukkan bahwa SIG dapat digunakan untuk mengumpulkan, mengatur, menganalisis, dan mengelola data geografis dengan manfaat menyajikan informasi secara lengkap dan akurat. Teknik analisis spasial *overlay* adalah salah satu prosedur penting dalam analisis SIG dan dapat digunakan untuk menampilkan suatu peta digital beserta atribut-atributnya dan menghasilkan peta gabungan keduanya yang memiliki informasi atribut dari kedua peta tersebut. Kami berharap bahwa makalah ini dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang SIG dan manfaatnya untuk pencegahan dan pengendalian vektor. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam pembuatan makalah ini.

Referensi

- Achmadi, U. F. (2005). *Manajemen penyakit berbasis wilayah*. Kompas.
- Adzan, G., & Danoedoro, P. (2012). Penggunaan logika fuzzy dalam pemodelan spasial kerentanan DBD di Kota Yogyakarta. *Jurnal Bumi Indonesia*, 1(3), 59–70. <https://media.neliti.com/media/publications/76508-ID-penggunaan-logika-fuzzy-dalam-pemodelan.pdf>
- Aronoff, S. (1989). *Geographic information systems: A management perspective*. WDL Publications.
- Begum, F. (2016, 9 Desember). *Mapping disease: John Snow and Cholera*. Royal College of Surgeons of England. <https://www.rcseng.ac.uk/library-and-publications/library/blog/mapping-disease-john-snow-and-cholera/>
- Boekoesoe, L. (2013). *Kajian faktor lingkungan terhadap kasus demam berdarah dengue (DBD) (Studi Kasus Di Kota Gorontalo Provinsi Gorontalo)* [Disertasi]. Universitas Gadjah Mada.
- Charter, D., & Agtrisari, I. (2003). *Desain dan aplikasi GIS: Geographics information system*. PT. Elex Media Komputindo.

- Dapeng, L. (1992). *Geographical information system: A tool to improve decision making on malaria surveillance and control*. Kementerian Kesehatan RI.
- Ditjen P2M & PL. (2001). *Menggunakan ArcViewSIG (Penggunaan sistem informasi geografis untuk program survailans dan pemberantasan penyakit)*. Direktorat Jenderal Pemberantasan Penyakit Menular dan Penyehatan Lingkungan Pemukiman Departemen Kesehatan Republik Indonesia. Konsultan Proyek ICDC Paket B.
- Elliott, P., & Wartenberg, D. (2004). Spatial Epidemiology: Current Approaches and Future Challenges. *Environmental Health Perspectives*, 112(9), 998–1006. <https://doi.org/10.1289/ehp.6735>
- Fariz, T. R. (2017). Pemodelan spasial kerawanan penyakit demam berdarah (DBD) menggunakan logika fuzzy di Kabupaten Kudus. *Jurnal Geografi*, 14(1), 90–101. <https://doi.org/10.15294/jg.v14i1.9780>
- Good Doctor ID , 2023. *Bagaimana pemanfaatan SIG dalam penyebaran suatu penyakit*. (Diakses 16 Desember 2023), <https://gooddoctor.id/pendidikan/bagaimana-pemanfaatan-sig-dalam-penyebaran-suatu-penyakit/>
- Hadi, B. S. (2013). Metode interpolasi spasial dalam studi geografi: Ulasan singkat dan contoh aplikasinya. *Geomedia*, 11(2), 235–252. <https://doi.org/10.21831/gm.v11i2.3454>
- Hadi, W., Nitya, I. F., Syaikat, S., Tambunan, R. P., & Soesilo, T. E. B. (2011). Penggunaan sistem informasi geografis efektif memprediksi potensi demam berdarah di kelurahan endemik (Pademangan Barat, Jakarta Utara). *Makara Journal of Health Research*, 15(1), 21–30. <https://uipublishing.id/books/fzlp/#p=1>
- Harimurti, N. K. (2007). *Analisis spasial dan temporal kasus demam berdarah dengue di Kota Yogyakarta* [Skripsi]. Fakultas Kedokteran Universitas Gadjah Mada.
- Indriasih, E. (2008). Sistem informasi geografis dalam bidang kesehatan. *Buletin Penelitian Sistem Kesehatan*, 11(1), 99–104. <https://media.neliti.com/media/publications-test/21096-sistem-informasi-geografis-sig-dalam-bid-20678946.pdf>
- Kesmas. (2015, 21 Januari). *Faktor lingkungan yang berhubungan dengan DBD*. Diakses pada 25 November 2024, dari <https://www.indonesian-publichealth.com/faktor-lingkungan-yangberhubungan-dengan-dbd/>

- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor: 374/MENKES/PER/III/2010 tentang Pengendalian Vektor, Direktorat Jenderal Pengendalian Penyakit dan Penyehatan Lingkungan Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2012). <https://pelayanan.jakarta.go.id/download/regulasi/peraturan-menteri-kesehatan-nomor-374-menkes-per-iii-2010-tentang-pengendalian-vector.pdf>
- Prahasta, E. (2002). *Konsep-konsep dasar sistem informasi geografis*. Informatika Bandung.
- Pusat Pelatihan SDM Kesehatan. (2009). *Modul pelatihan sistem informasi geografis untuk intensifikasi pemberantasan penyakit menular*. Kementerian Kesehatan RI. https://siakpel.kemkes.go.id/upload/akreditasi_kurikulum/modul-2-31313830-3534-4431-b130-323230353239.pdf
- Rahman, F. (2020). *Pemanfaatan sig di bidang kesehatan masyarakat, Universitas Halu Oleo*. <https://www.linkedin.com/pulse/pemanfaatan-sistem-informasi-geografi-di-bidang-kesehatan-rahman/>
- Setyawan, D. A. (2014). *Sistem informasi geografis (sig) dalam kesehatan masyarakat, program studi diploma iv kebidanan komunitas Politeknik Kesehatan Surakarta*. <https://bidankomunitas.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/01/sig-dalam-kesmas.pdf>
- Sunaryo. (2019). *Sistem informasi geografis untuk kesehatan masyarakat*. Diandra Kreatif.
- Vaughan, J. P., & Morrow, R. H. (1989). *Manual of epidemiology for district health management*. World Health Organization.
- World Health Organization (WHO). (2009). *Dengue guidelines for diagnosis, treatment, prevention and control: new edition*. <https://iris.who.int/handle/10665/44188>

BAB 4

Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis dalam Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Malaria dan Demam Berdarah Dengue

Dwi Sarwani Sri Rejeki

A. Pendahuluan

Penyakit tular vektor masih menjadi permasalahan kesehatan yang penting di Indonesia. Setiap tahun di Indonesia masih dilaporkan beberapa penyakit tular vektor, seperti malaria, demam berdarah dengue (DBD), chikungunya, dan filariasis. Komitmen Indonesia untuk mengeliminasi malaria dibuktikan dengan terbitnya Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 293/MENKES/SK/IV/2009 tentang eliminasi malaria di Indonesia untuk mewujudkan masyarakat yang hidup sehat, terbebas dari penularan malaria secara bertahap sampai tahun 2030. Sampai tahun 2024 ini, di Indonesia masih dilaporkan kasus malaria terutama di Indonesia bagian timur. Sementara itu, kasus DBD sampai saat ini masih dilaporkan oleh

D. S. S. Rejeki

Universitas Jenderal Soedirman, *e-mail*: dwi.rejeki@unsoed.ac.id

©2024 Editor & Penulis

Rejeki, D. S. S. (2024). Pemanfaatan sistem informasi geografis dalam pencegahan dan pengendalian penyakit malaria dan demam berdarah dengue. Dalam S. P. M. Wijayanti & A. L. Ramadona (Ed.), *Dinamika penyakit tular vektor nyamuk di Indonesia* (89–124). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.1589. c1274 E-ISBN: 978-602-6303-59-2

Buku ini tidak diperjualbelikan.

hampir seluruh wilayah Indonesia, baik di wilayah perkotaan maupun perdesaan. Berbagai upaya dilakukan untuk mengendalikan penyakit tular vektor ini, salah satunya dengan pendekatan sistem informasi geografis (SIG).

Sistem informasi geografis (SIG) merupakan sistem informasi bersifat geografis yang menjelaskan suatu keadaan “ruang” atau wilayah, atau yang dikenal dengan istilah spasial (*spatial*) sehingga sering dikenal dengan analisis spasial (analisis keruangan). Sistem informasi geografis ini adalah sistem berbasis komputer yang digunakan untuk mengolah dan menyimpan data atau informasi geografis. Komponen SIG terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, data geografis, analisis, dan sumber daya manusia yang bekerja bersama secara efektif untuk memasukkan, menyimpan, memperbaiki, memperbarui, mengelola, memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisis, dan menampilkan data dalam suatu informasi berbasis geografis (Centers for Disease Control, 2019). Pemanfaatan SIG mencakup bidang lingkungan, pertanahan, pertanian, ekonomi bisnis, telekomunikasi, pendidikan, pertambangan, transportasi, militer, dan tentu saja kesehatan. Di bidang kesehatan, tokoh yang memelopori penggunaan SIG ini adalah John Snow (bapak epidemiologi modern). John Snow mempelajari wabah kolera di Kota London pada tahun 1854 dengan melakukan pemetaan untuk menyelidiki kaitan antara air dengan kejadian kolera di London (WHO, 2023).

Ada 4 komponen penting dalam SIG, yaitu perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*), data geografi, dan personel yang mengoperasikan sistem ini. Perangkat keras meliputi komputer, CPU (*Central Processing Unit*), monitor, *printer*, *digitizer*, *scanner*, *plotter*, CD rom, VDU (*Visual Display Unit*), *flash disk*, dan lain sebagainya. Perangkat lunak meliputi *software* yang digunakan untuk input data, proses maupun *output* data. *Software* yang digunakan di antaranya Q-GIS dan ArcGis. Data geografi terdiri dari data grafis (spasial) dan data atribut (tematik). Data grafis atau data spasial adalah data yang tersimpan dalam bentuk garis, titik, dan area. Contoh

data grafis/spasial ini adalah topografi, rupabumi, lingkungan laut, dan lingkungan pantai. Data atribut adalah data yang menjelaskan mengenai setiap objek di permukaan bumi, termasuk fenomena atau informasi yang mengikutinya. Contoh data atribut yaitu tata guna lahan, mineral, batuan, geologi, flora dan fauna, penduduk, administrasi, sosial-ekonomi-budaya, serta politik.

Sebagai suatu sistem, sistem informasi geografis (SIG) mempunyai beberapa komponen antara lain sebagai berikut.

1) Masukan data (input)

Masukan data ini bisa berupa peta, tabel, laporan, data statistik, foto udara, citra satelit, dan pengukuran lapangan. Data yang dimasukkan dalam sistem ini meliputi data spasial dan data atribut.

2) Manajemen data (penyimpanan dan pemanggilan)

Manajemen data merupakan serangkaian kegiatan dalam pengorganisasian data atau basis data.

3) Analisis dan manipulasi data

Analisis data dan manipulasi data merupakan kegiatan pemodelan untuk menghasilkan informasi baru. Informasi baru ini digunakan sebagai dasar perencanaan kegiatan atau intervensi.

4) Keluaran (*output*)

Keluaran atau *output* dari sistem GIS dapat meliputi peta, tabel, dan grafik. Dengan adanya peta, pembaca akan lebih mudah menginterpretasikannya dibandingkan dengan narasi.

Sistem Informasi Geografis (SIG) dirancang untuk mendukung berbagai analisis terhadap informasi geografi data dari aspek keruangan, mengembangkan dan menguji model-model, serta menyajikan kembali data sehingga akan meningkatkan pemahaman dan wawasan tentang sesuatu. Teknik-teknik analisis seperti inilah yang disebut analisis spasial. Analisis spasial adalah sekumpulan teknik untuk menganalisis data spasial untuk memberikan informasi yang spesifik tentang peristiwa yang sedang terjadi pada suatu area atau wilayah

geografi atau perubahan yang terjadi pada waktu tertentu. Analisis spasial ini dapat diterapkan dalam bidang ilmu kesehatan, seperti epidemiologi yang mempelajari tentang distribusi, frekuensi, dan determinan masalah kesehatan dan penyakit yang terjadi pada populasi/masyarakat dan aplikasinya untuk mengendalikan masalah tersebut. Dengan demikian, epidemiologi spasial merupakan deskripsi dan analisis variasi geografis penyakit yang berkaitan dengan faktor risiko demografis, lingkungan, perilaku, sosial-ekonomi, genetik, dan penyakit menular (Elliott & Wartenberg, 2004). Hingga saat ini, SIG dalam bidang kesehatan terus dikembangkan dan diterapkan guna mendukung upaya pencegahan dan pengendalian berbagai penyakit menular seperti malaria dan demam berdarah dengue. Oleh karena itu, bab ini membahas mengenai pemanfaatan SIG di bidang kesehatan, metode analisis spasial, dan pemanfaatannya dalam pencegahan dan pengendalian penyakit khususnya penyakit tular vektor seperti malaria dan demam berdarah dengue (DBD).

B. Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis di Bidang Kesehatan

Penentuan distribusi penderita suatu penyakit, serta pola atau model penyebaran penyakit bisa digambarkan dengan SIG. Begitu juga dengan penentuan distribusi unit-unit rumah sakit, puskesmas-puskesmas, fasilitas-fasilitas kesehatan, maupun jumlah tenaga medis dapat pula dilakukan dengan SIG. Menurut World Health Organization (2006), SIG dalam kesehatan masyarakat dapat digunakan sebagai berikut.

1) Menentukan distribusi geografis penyakit

Sistem Informasi Geografis (SIG) digunakan untuk memetakan penyebaran dan distribusi geografis suatu penyakit di suatu wilayah, melihat apakah kecenderungan kasus-kasus penyakit pada wilayah geografi tertentu.

2) Analisis tren spasial dan temporal

Dengan membuat peta penyakit secara berurutan, misalnya 5 tahunan atau 10 tahunan, kita bisa melihat tren penyakit dalam kurun waktu tersebut, apakah mengalami peningkatan dan penyebaran atau tidak.

3) Pemetaan populasi berisiko

Pemetaan populasi atau wilayah berisiko memberikan informasi terkait wilayah atau populasi yang berisiko secara geografis. Pemanfaatan epidemiologi spasial misalnya digunakan untuk menggambarkan endemisitas wilayah dan populasi berisiko.

4) Stratifikasi faktor risiko

Faktor risiko bisa kita buat stratifikasi setiap wilayah geografis. Sistem informasi geografis (SIG) membantu untuk menggambarkan stratifikasi faktor risiko penyakit setiap wilayah.

5) Penilaian distribusi sumber daya

Dengan SIG, kita dapat melihat penyebaran sumber daya di bidang kesehatan, misalnya pelayanan dasar, dokter praktik, klinik, dan lain sebagainya. Hal ini penting dalam kegiatan analisis situasi dan penentuan target intervensi.

6) Perencanaan dan penentuan intervensi

Dengan dipetakan distribusi dan penyebaran penyakit dan masalah kesehatan, maka informasi tersebut dapat digunakan untuk perencanaan dan penentuan intervensi untuk menyelesaikan masalah.

7) Monitoring penyakit

Dengan membuat peta distribusi dan penyebaran penyakit, serta melihat tren penyakit, maka kita bisa memonitor penyakit dan melihat apakah penyakit sudah cenderung berkurang insidensinya dengan adanya intervensi yang sudah dilakukan.

C. Analisis Spasial, Temporal, Spasiotemporal

Analisis spasial merupakan gabungan dari data spasial dan data atribut yang disajikan secara inferensi visual. Letak suatu lokasi

atau posisi di permukaan bumi disebut data spasial, sedangkan data atribut merujuk pada variabel kualitatif, seperti nama dan atribut numerik, jumlah penduduk, jumlah pelayanan kesehatan (RS atau Puskesmas), pendapatan, dan lain sebagainya. Analisis spasial mencakup statistik spasial, yang bertujuan untuk mengkuantifikasi ketidakpastian estimasi, prediksi, dan pemetaan, serta menyediakan dasar inferensi statistik dengan data spasial (Waller & Gotway, 2004; Lai et al., 2009). Analisis spasial ini membantu para epidemiolog untuk mendeskripsikan pola spasial penyakit, mengidentifikasi *cluster* penyakit, dan menjelaskan atau memprediksi risiko dari penyakit. Pengelolaan data spasial menggunakan *geographic information systems* (GIS) dan *database management systems* (DBMS) serta melalui berbagai tahapan analisis data spasial (Pfeiffer et al., 2008).

Terdapat 3 kelompok metode analisis dalam spasial, yaitu visualisasi, eksplorasi, dan *modeling*. Visualisasi adalah analisis yang paling umum digunakan, menghasilkan peta yang mendeskripsikan pola spasial dan berguna untuk merangsang analisis selanjutnya dan mengomunikasikan dengan pihak lain. Eksplorasi dalam spasial menggunakan metode statistik untuk menentukan apakah pola yang diamati adalah acak (*random*) dalam ruang. Analisis *modeling* menggunakan konsep hubungan sebab akibat yang menggunakan data spasial dan nonspasial untuk menjelaskan atau memprediksi pola spasial. Analisis spasial juga menggabungkan visualisasi dan penggunaan statistik untuk menguji apakah pola yang diamati membentuk *cluster* (mengelompok) atau tersebar secara *random*. Identifikasi adanya *cluster* membantu dalam mengetahui secara dini adanya wabah penyakit menular dan faktor apa yang memengaruhinya. Selain itu, dalam analisis spasial bisa menghasilkan pemodelan, yaitu analisis spasial yang menjelaskan hubungan sebab-akibat dengan menggunakan data spasial dan atribut (Pfeiffer et al., 2008).

Di bidang kesehatan, aplikasi statistik spasial yang sering digunakan, yaitu analisis *clustering* dan pemodelan. Perangkat lunak SaTScan dan GeoDa banyak digunakan dalam analisis *clustering* dan

pemodelan. SaTScan adalah *software* yang digunakan untuk analisis spasial, *temporal*, dan *space-time* data yang menggunakan spasial, *temporal*, atau *space-time scan* statistik. Adapun tujuan penggunaan SaTScan (Kulldorff, 2015) adalah sebagai berikut:

- 1) menampilkan secara geografik surveilans penyakit, untuk mendeteksi spasial atau *cluster space-time* dan untuk melihat apakah secara statistik signifikan;
- 2) untuk menguji apakah penyakit berdistribusi *random* atau mengelompok dalam suatu lokasi, waktu atau lokasi dan waktu;
- 3) mengevaluasi kemaknaan statistik dari *cluster* penyakit yang terjadi; serta
- 4) menampilkan *real-time* prospektif atau periodik waktu surveilans penyakit untuk deteksi awal kejadian luar biasa (KLB)/*outbreaks*.

SaTScan dapat digunakan untuk diskret dan kontinu *scan* statistik. Pada diskret *scan* statistik, lokasi geografi data yang diamati adalah *non-random* dan *fixed*, seperti letak rumah, sekolah, atau bisa titik tengah/*central* dari lokasi yang luas (*centroid*). Pada kontinu *scan* statistik, lokasi yang diamati adalah *random* dan dapat terjadi di mana saja dalam studi area yang ditentukan oleh pengguna. Pada diskret *scan* statistik, SaTScan dapat menggunakan model *Poisson*, *Bernaulli*, *Space-time permutation*, *Multinomial*, dan *Exponential model*. Pada *Poisson model*, pengamatan pada jumlah kejadian yang terjadi pada populasi bukan pengamatan individu, harus diketahui populasi yang berisiko. *Bernaulli model* digunakan untuk dengan kejadian 1 dan 0, seperti kasus dan kontrol. Model *Space-time permutation* menggunakan data kasus yang terdiri dari lokasi spasial dan waktu mulai sakit. *Multinomial model* untuk data kategorik, merupakan model ordinal. Sedangkan eksponensial model digunakan untuk data waktu *survival* dengan atau tanpa *censored* variabel. Pada kontinu *scan* statistik, misalnya data curah hujan, kelembapan, polusi udara, SaTscan menggunakan model kontinu *Poisson* (Pfeiffer et al., 2008).

Cara kerja SaTScan yaitu dengan menempatkan jendela lingkaran pada peta studi sesuai dengan analisis dan model yang ditentukan. Analisis SaTScan terdiri dari *purely spatial*, *purely temporal*, dan *space-time*. Analisis *purely spatial* scan statistik yaitu jendela lingkaran akan ditempatkan berdasarkan hasil analisis menurut lokasi pada peta. Analisis *purely temporal* scan statistik yaitu jendela lingkaran ditempatkan berdasarkan analisis dimensi waktu. Analisis *space-time* scan statistik yaitu jendela lingkaran akan ditempatkan berdasarkan hasil analisis menurut lokasi dan menurut dimensi waktu (Kulldorff, 2015). Pada analisis SaTScan, dilakukan perbandingan jumlah kasus yang diobservasi pada *cluster* dengan jumlah kasus yang diharapkan bila lokasi spasial dan temporal saling bebas sehingga tidak ada interaksi *space-time*. Apabila dalam kurun waktu jumlah kasus pada suatu area geografis tertentu dua kali lebih tinggi dibandingkan area geografis lainnya, maka pada area geografis tersebut terjadi *cluster* (Rejeki et al., 2019).

GeoDa merupakan perangkat lunak yang mengombinasikan peta dan statistik grafik (Anselin, 2003). GeoDa mempunyai kemampuan dalam menganalisis ketergantungan spasial. Ketergantungan spasial yaitu mempelajari hubungan antarkarakteristik dalam lingkup geografi. Ukuran yang digunakan untuk mengetahui ketergantungan spasial, yaitu autokorelasi spasial. Teknik untuk mengidentifikasi apakah suatu kejadian penyakit di permukaan bumi berkesesuaian atau tidak berkesesuaian dengan unit area sekitarnya disebut autokorelasi spasial. Autokorelasi spasial penting dalam epidemiologi penyakit karena pada statistik diasumsikan bahwa kejadian saling berhubungan atau saling bebas satu sama lain. Di sisi lain, apabila kejadian penyakit diambil dari area atau titik yang berdekatan dan hasil analisis statistik menunjukkan tidak terdapat perbedaan kejadian pada area-area tersebut, maka statistik tidak dapat mengidentifikasi adanya autokorelasi spasial (Lai et al., 2009).

D. Pemanfaatan Analisis Spasial pada Penyakit Malaria dan Demam Berdarah Dengue

Epidemiologi spasial banyak digunakan dalam epidemiologi penyakit, terutama penyakit menular, seperti malaria, demam berdarah, filariasis, tuberkulosis paru, dan lain sebagainya. Beberapa kajian epidemiologi spasial pada penyakit tular vektor sudah dilakukan di beberapa negara dan juga di Indonesia.

1. Pemanfaatan Epidemiologi Spasial pada Penyakit Malaria

Penggunaan analisis spasial sangat bermanfaat dalam malaria (Carter et al., 2000; Tonnang et al., 2010). Aspek keruangan yang menunjukkan lokasi letak dan posisi suatu objek atau kejadian yang berada di bawah, pada, atau di atas permukaan bumi yang dinyatakan dalam sistem koordinat tertentu disebut geospasial (UU No. 4, 2011). Untuk keperluan perubahan data spasial menjadi informasi geospasial, diperlukan SIG serta analisis spasial. Penggunaan SIG untuk malaria, yaitu dalam penentuan analisis variasi lokal, penentuan zona berisiko secara geografi, dan pengukuran intervensi malaria (Carter et al., 2000; Coulibaly et al., 2013; Clements et al., 2013). Penggabungan aspek keruangan dan aspek waktu disebut spasiotemporal. Penggunaan spasiotemporal dalam pengendalian malaria yaitu dalam penentuan target intervensi berdasarkan tren lokal transmisi (Alemu et al., 2014; Alemu et al., 2013; Dhimal et al., 2014). Beberapa negara seperti Ethiopia, Bangladesh, China, dan Kenya menunjukkan kejadian malaria yang mengelompok/membentuk *cluster*, baik *cluster* primer, sekunder (Alemu et al., 2013; Haque et al., 2011; Zhang et al., 2008; Ernst et al., 2006), maupun mengelompok pada waktu tertentu (Xia et al., 2015; Alemu et al., 2014). Dalam fase pra-eliminasi dan eliminasi, intervensi harus ditargetkan untuk seluruh desa atau kota-kota yang memiliki kejadian malaria lebih tinggi sampai episode malaria pada individu (Bousema et al., 2012).

Sistem informasi geografis (SIG) dengan *clustering* spasial malaria digunakan untuk mengetahui pola spasial kejadian malaria dan membantu menghubungkan hipotesis terhadap distribusi yang diobservasi. Analisis *clustering* digunakan untuk sistem kewaspadaan dini KLB suatu penyakit dan untuk penentuan target intervensi lokal yang tepat (Coleman et al., 2009). Spatial statistik (SaTScan) digunakan untuk mengetahui apakah kejadian malaria berdistribusi secara acak atau mengelompok (Xia et al., 2015; Alemu et al., 2014). Hasil penelitian malaria di Ethiopia menunjukkan terdapat 5 kabupaten termasuk *the most likely spatiotemporal clusters* dan di seluruh wilayah penelitian diidentifikasi *secondary clusters* (Alemu et al., 2013). Penelitian di Perbukitan Bangladesh menunjukkan bahwa penderita malaria membentuk 3 *cluster* di wilayah tersebut (Haque et al., 2011). Di Provinsi Anhui China, diidentifikasi ada 8 kecamatan dan 2 kota yang kasus malaria mengelompok selama tahun 2002–2006 (Zhang et al., 2008). Terdapat pengelompokan (*cluster*) kasus malaria selama 4 tahun di dataran tinggi Kenya, individu yang tinggal di area *cluster* malaria memiliki risiko 3 kali lebih besar menderita malaria dibanding dengan yang tinggal di luar *cluster* (Ernst et al., 2006). Kejadian luar biasa (KLB) yang terjadi di Kota Albertsnek dan Thambokulu di Provinsi Mpumalanga Afrika Selatan sama dengan hasil analisis *space time cluster*. Hal ini menunjukkan *space time cluster* dengan SaTScan bisa digunakan sebagai sistem konfirmasi terjadinya KLB (Coleman et al., 2009).

Hasil analisis spasial malaria di Pulau Sebatik Kalimantan Timur tahun 2007–2009 menunjukkan pola sebaran malaria bersifat mengelompok, letak rumah kasus malaria cenderung berdekatan (65–75 m) dan rumah kasus malaria berdekatan dengan habitat jentik dan dalam jarak terbang nyamuk (Boewono et al., 2012). Hasil spasial kejadian malaria saat KLB di Purworejo tahun 2010–2011 menunjukkan terdapat pengelompokan (*clustering*) malaria secara kewilayahan, yaitu di Desa Somongari Kecamatan Kaligesing periode November 2010–Maret 2011 (Sulistyawati, 2012).

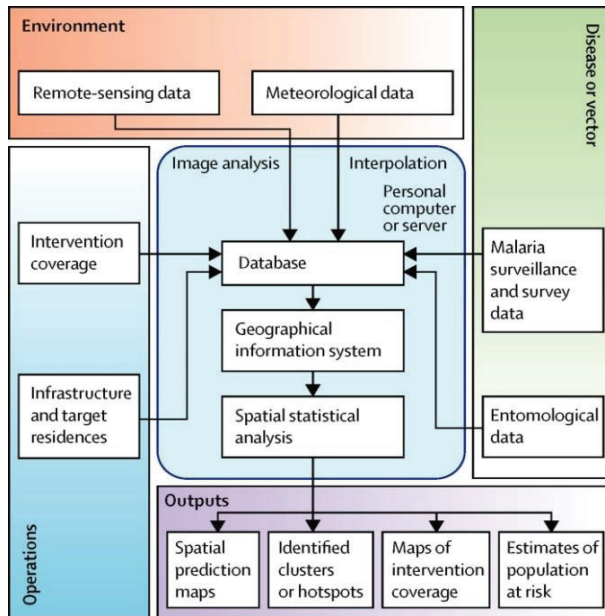
a. Spasiotemporal Malaria

Spasiotemporal epidemiologi malaria adalah metode yang digunakan untuk memahami spasial dan temporal pola epidemi penyakit malaria, menilai perubahan transmisi malaria, serta mengidentifikasi lokasi dan waktu epidemi malaria dengan risiko yang lebih tinggi (Alemu et al., 2014; Xia et al., 2015). Analisis spasiotemporal digunakan untuk mengidentifikasi lokasi *cluster* dari wilayah berisiko tinggi atau berisiko rendah malaria, aplikasi retrospektif analisis untuk menggambarkan secara epidemiologi dan investigasi, serta prospektif analisis untuk *surveillance real-time*.

Analisis spasial atau keruangan terhadap penyakit merupakan hal yang penting. Hal ini terkait penularan malaria pada setiap daerah yang memiliki ekosistem yang berbeda dan lokal spesifik. Analisis keruangan pada wilayah setingkat desa akan memudahkan dalam menjelaskan faktor yang secara spesifik memengaruhi penularan malaria atau mendeskripsikan pola penularan di wilayah tersebut. Pengetahuan tentang model transmisi malaria pada ekosistem tertentu, berarti kemampuan untuk mengetahui pola penularan sesuai dengan kondisi ekosistemnya masing-masing sehingga petugas kesehatan di lapangan akan mampu merencanakan intervensi sesuai dengan kondisi setempat (Alemu et al., 2014). Penerapan ilmu geospasial dalam rangka eliminasi malaria ditunjukkan oleh Gambar 4.1

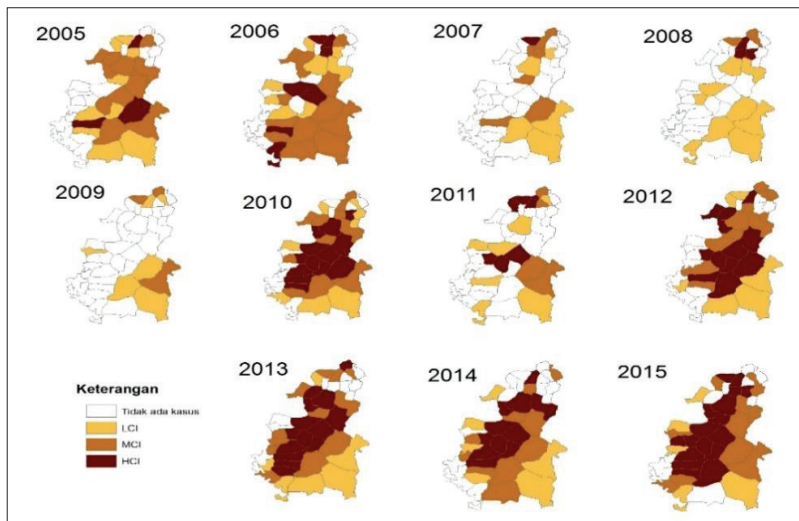
Pemanfaatan GIS dalam contoh peta endemisitas malaria di Perbukitan Menoreh dari tahun 2005–2015 disajikan pada Gambar 4.2. Gambaran endemisitas malaria dilihat dari angka *annual parasite incidence* (API) per desa selama 11 tahun di ekosistem Menoreh. Desa kategori *low case incidence* (LCI) jika API < 1 per 1.000 penduduk, *Moderate case incidence* (MCI) jika API 1,0–4,9 per 1.000 penduduk dan *high case incidence* (HCI) jika API ≥ 5 per 1000 penduduk.

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa kasus malaria dan angka API di ekosistem Menoreh berfluktuatif selama periode 11 tahun. Angka API cenderung turun sampai tahun 2009, tetapi terjadi peningkatan kembali sampai tahun 2015. Peningkatan API cukup signifikan dalam waktu 5 tahun terakhir. Jumlah kasus dan API tertinggi terjadi pada



Sumber: Clements et al. (2013)

Gambar 4.1 Kerangka Kerja Geospasial untuk Eliminasi Malaria



Gambar 4.2 Endemisitas Malaria Per Desa di Ekosistem Menoreh Tahun 2005–2015

tahun 2015. Desa-desanya dengan API bervariasi selama 11 tahun. Selama 5 tahun terakhir jumlah desa yang endemis makin bertambah jumlahnya, jumlah desa LCI, MCI, dan HCI makin meningkat. Bahkan pada tahun 2015 desa-desanya di Menoreh didominasi dengan desa HCI. Ada 17 (39,5%) desa HCI pada tahun 2015, meningkat dari 11 (25,6%) desa HCI pada tahun 2014. Setiap kecamatan yang ada di ekosistem Menoreh terdapat desa HCI pada tahun 2015.

b. Sebaran Malaria

Analisis *global spatial autocorrelation* (Indeks Global Moran) dilakukan untuk mengetahui pola sebaran kasus malaria di semua desa di Menoreh setiap tahunnya. Hasil analisis tiap tahun menghasilkan apakah pola sebaran malaria di Menoreh berpola mengelompok (*clustered*), menyebar (*dispersed*), atau *random* (tidak ada *autocorrelation*). Berikut hasil analisis *global spatial autocorrelation* menggunakan ArcGIS yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Insiden Malaria dan *Global Spatial Autocorrelation* di Ekosistem Perbukitan Menoreh

Tahun	N	Incidence Rate	I	Z	p-value	Keterangan
2005	24	1,3	0,01	8,12	0,01	Clustered
2006	29	3,0	0,09	2,29	0,05	Clustered
2007	13	0,6	0,03	6,16	0,01	Clustered
2008	15	0,9	-0,04	-0,44	0	Random (tidak ada autokorelasi)
2009	9	0,2	0,04	4,8	0,01	Clustered
2010	17	1,8	0,02	5,91	0,01	Clustered
2011	32	9,3	0,1	5,47	0,01	Clustered
2012	30	5,9	-0,01	0	0	Random (tidak ada autokorelasi)

Tahun	N	Incidence Rate	I	Z	p-value	Keterangan
2013	32	6,1	0,06	3,71	0,01	Clustered
2014	27	6,2	0,01	1,11	0	Random (tidak ada autokorelasi)
2015	32	10,8	0,1	5,1	0,01	Clustered

Keterangan:

N : jumlah desa yang melaporkan kasus malaria

I : koefisien Moran's

Z : nilai statistik Moran's

Sumber: Rejeki et al. (2019)

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa sebagian besar kasus malaria tahunan di ekosistem Perbukitan Menoreh dari tahun 2005–2015 berpola mengelompok (*clustered*). Pola *clustered* terjadi pada tahun 2005–2007, 2009–2011, 2013, dan 2015, sedangkan pada tahun 2008, 2012, dan 2014 berpola *random* (tidak terjadi *autocorrelation*). Jumlah desa yang melaporkan kasus malaria dari tahun 2005–2015 berkisar 9 desa sampai 32 desa, dan ada kecenderungan naik dalam 5 tahun terakhir.

c. Pengelompokan Spasial Malaria

Untuk mengetahui pengelompokan spasial malaria menggunakan *software* SaTScan, yaitu dengan cara mendeteksi lokasi *cluster* yang berisiko tinggi. Hasil analisis menunjukkan pengelompokan malaria dari tahun 2005–2015 berdistribusi tidak *random* di ekosistem Menoreh. Dengan metode *Kulldorff's spatial scan statistic* diidentifikasi 19 *cluster spatial* signifikan yang berbeda (11 *most likely clusters* dan 8 *secondary likely clusters*), dengan jumlah per tahun satu atau dua *cluster*. Berikut ini *cluster* malaria yang terdeteksi dengan *purely spatial clustering* tahun 2005–2015.

Tabel 4.2 Cluster Malaria yang Terdeteksi dengan *Purely Spatial Clustering*

Tahun	Tipe	N	Koordinat/ Radius	Observed	Expected	RR	LLR	p-value
2005	A	9	-7.819 S, 110.115 E/ 7,18 km	153	73,6	5,08	62,82	0,000
	B	1	-7.819 S, 110.115 E/ 0 km	23	1,18	21,87	47,76	0,000
2006	A	15	-7.731 S, 110.088 E/ 5,67 km	160	81,47	3,07	45,66	0,000
	B	5	-7.696 S, 110.103 E/ 1,95 km	69	18,71	4,49	44,54	0,000
2007	A	6	-7.691 S, 110.091 E/ 3,60 km	17	2,97	7,35	17,30	0,000
2008	A	6	-7.696 S, 110.103 E/ 2,34 km	51	21,68	2,35	6,95	0,000
2009	A	5	-7.691 S, 110.091 E/ 11,21 km	7	2,07	3,86	3,91	0,030
2010	A	10	-7.696 S, 110.103 E/ 11,19 km	99	27,02	15,13	95,93	0,000
	B	2	-7.789 S, 110.064 E/ 1,93 km	32	1,36	31,47	74,62	0,000
2011	A	13	-7.761 S, 110.035 E/ 6,42 km	704	298,73	6,72	374,09	0,000
	B	5	-7.789 S, 110.064 E/ 2,73 km	385	159,01	3,44	151,77	0,000
2012	A	2	-7.713 S, 110.062 E/ 1,43 km	73	13,88	5,91	65,42	0,000
	B	9	-7.776 S, 110.085 E/ 4,58 km	285	196,94	1,92	29,15	0,000
2013	A	13	-7.780 S, 110.049 E/ 5,25 km	419	237,44	3,83	117,78	0,000
	B	2	-7.780 S, 110.047 E/ 1,62 km	120	47,45	2,53	44,03	0,000

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tahun	Tipe	N	Koordinat/ Radius	Observed	Expected	RR	LLR	p-value
2014	A	13	-7.780 S, 110.049 E/ 5,16 km	414	230,21	3,69	117,32	0,000
	B	1	-7.776 S, 110.085 E/ 0 km	124	47,99	3,01	47,31	0,000
2015	A	2	-7.796 S, 110.079 E/ 1,83 km	247	71,74	3,44	148,75	0,000
	B	10	-7.713 S, 110.062 E/ 5,75 km	373	294,21	1,44	14,60	0,000

Keterangan:

Tipe : A: jenis *most likely cluster*; dan B: *secondary cluster*

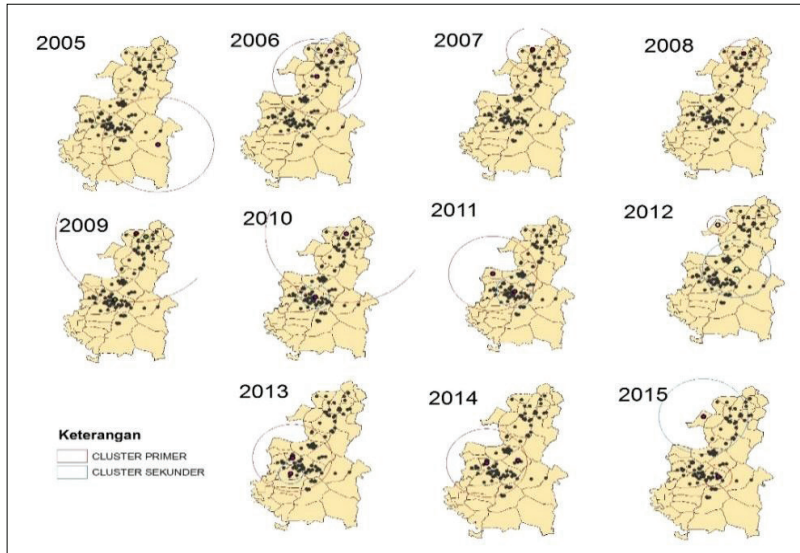
N : jumlah *cluster* desa yang diidentifikasi dengan *Kulldorff's spatial scan*

RR : *relative risk*, LLR: *log likelihood ratio*

Sumber: Rejeki et al. (2019)

Di ekosistem Perbukitan Menoreh, jumlah desa *most likely cluster* (*cluster primer*) berkisar antara 2–15 desa dan *secondary likely clusters* berkisar 1–10 desa antara tahun 2005–2015. Selama 11 tahun, terdapat 2 periode di mana terjadi *most likely cluster* lintas batas provinsi, yaitu tahun 2005 dan 2013 yang melibatkan Jawa Tengah dan DIY.

Cluster primer (most likely cluster) dan *cluster sekunder (secondary likely clusters)* di ekosistem Menoreh dari tahun 2005–2015 ditunjukkan oleh Gambar 4.3. *Cluster primer* tahun 2005 terjadi di lintas batas kabupaten, tahun 2006–2012 di Kabupaten Purworejo, tahun 2013 di Purworejo dan satu desa di Kokap, serta tahun 2014–2015 terjadi di Purworejo. Kejadian *cluster* baik primer maupun sekunder lebih banyak terjadi di wilayah Kabupaten Purworejo (terutama di Kaligesing) dan sebagian perbatasan Puworejo-Kokap Kulonprogo (Gambar 4.3).



Sumber: Rejeki et al. (2019)

Gambar 4.3 *Annual Spatial* Malaria yang Terdeteksi dari Tahun 2005–2015 di Ekosistem Menoreh

1) *Temporal cluster* tahun 2005–2015

Analisis *temporal cluster* untuk mengetahui waktu pengelompokan (*cluster*) terjadi di ekosistem Menoreh setiap tahun. Hasil analisis temporal kasus malaria di ekosistem Menoreh tahun 2005–2015 menggunakan *software* SaTScan dengan analisis *purely spatial* dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa *temporal cluster* di ekosistem Menoreh terbagi dalam bulan yang berbeda-beda, 5 bulan pada tahun 2005 (Agustus–Desember), 6 bulan pada tahun 2006 (Maret–Agustus), 5 bulan pada tahun 2007 (Februari–Juni), 2 bulan pada tahun 2008 (Juli–Agustus), 4 bulan pada tahun 2009 (Juni–September), 1 bulan pada tahun 2010 (Desember), 4 bulan pada tahun 2011 (September–Desember), 1 bulan pada tahun 2012 (Januari), 3 bulan pada tahun 2013 (September–November), 3 bulan pada tahun 2014 (Oktober–Desember), dan 3 bulan pada tahun 2015 (Juli–September).

Tabel 4.3 Cluster Malaria yang Terdeteksi dengan *Purely Temporal Clustering* di Ekosistem Menoreh Tahun 2005–2015.

Tahun	Waktu Clusters	Observed	Expected	RR	LLR	p-value
2005	1/08/2005–31/12/2005	149	87,19	3,50	37,56	0,001
2006	1/03/2006–31/8/2006	205	151,23	2,12	19,75	0,001
2007	1/02/2007–30/6/2007	47	27,12	3,55	12,23	0,001
2008	1/07/2008–31/8/2008	26	11,18	3,19	9,33	0,001
2009	1/06/2009–30/09/2009	24	14,04	2,66	4,94	0,016
2010	1/12/2010–31/12/2010	38	10,36	4,87	25,49	0,001
2011	1/09/2011–31/12/2011	588	305,51	3,50	176,01	0,001
2012	1/01/2012–31/01/2012	126	46,92	3,18	51,89	0,001
2013	1/09/2013–30/11/2013	256	143,11	2,42	52,27	0,001
2014	1/10/2014–31/12/2014	336	148,46	3,94	134,13	0,001
2015	1/07/2015–30/09/2015	435	240,96	2,48	92,01	0,001

Keterangan:

RR : *relative risk*

LLR : *log likelihood ratio*

Sumber: Rejeki et al. (2019)

- 2) Spasiotemporal dengan analisis *space time clustering* tahun 2005–2015 di ekosistem Perbukitan Menoreh

Hasil analisis *space time clustering* tahun 2005–2015 di ekosistem Perbukitan Menoreh dapat dilihat pada data yang disajikan dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4 menunjukkan kasus malaria yang terdeteksi dengan *space-time scan statistics* tahun 2005–2015 di ekosistem Perbukitan Menoreh. *The most likely cluster* dan *secondary cluster* terlihat pada

Tabel 4.4 serta Gambar 4.4 dan 4.5. *The most likely cluster* tercakup dalam 8 desa pada interval waktu Januari 2006–2010, meliputi Desa Hardimulyo, Gunungwangi, Sudorogo, Tlogorejo, Ngaran, Tlogobulu, Ngadirejo, dan Somowono. *Secondary cluster* pertama mencakup 5 desa dari bulan Januari 2005–Desember 2009, yaitu Desa Hargorejo, Hargowilis, Kalirejo (Kokap), Hargomulyo, dan Hargotirto. *Secondary cluster* kedua mencakup 2 desa dari bulan Januari–Desember 2012, yaitu Desa Jelok dan Kedunggubuh. *Secondary cluster* ketiga mencakup 4 desa dari bulan Januari–Desember 2011, yaitu Desa Somongari, Hulosobo, Semagung, dan Jatirejo. *Secondary cluster* keempat mencakup 6 desa dari bulan Januari–Desember 2013, yaitu Desa Somorejo, Hargorojo, Tlogokotes, Bapangsari, Kalirejo, Sokoagung.

Tabel 4.4 *Cluster Malaria yang Teridentifikasi Menggunakan Space Time Clustering Tahun 2005–2015 di Ekosistem Perbukitan Menoreh*

Type	N	Waktu	Koordinat, radius	Observed	Expected	RR	p-value
A	8	1/1/2006– 31/12/2010	-7.691 S 110.091 E 3,19 km	200	52,42	3,82	< 0,001
B1	5	1/1/2005– 31/12/2009	-7.847 S 110.104 E 5,57 km	299	119,35	2,51	< 0,001
B2	2	1/1/2012– 31/12/2012	-7.713 S 110.062 E 1,43 km	73	14,61	5,00	< 0,001
B3	4	1/1/2011– 31/12/2011	-7.763 S 110.065 E 2,63 km	383	223,41	1,71	< 0,001
B4	6	1/1/2013– 31/12/2013	-7.826 S 110.038 E 2,85 km	177	80,10	2,21	< 0,001

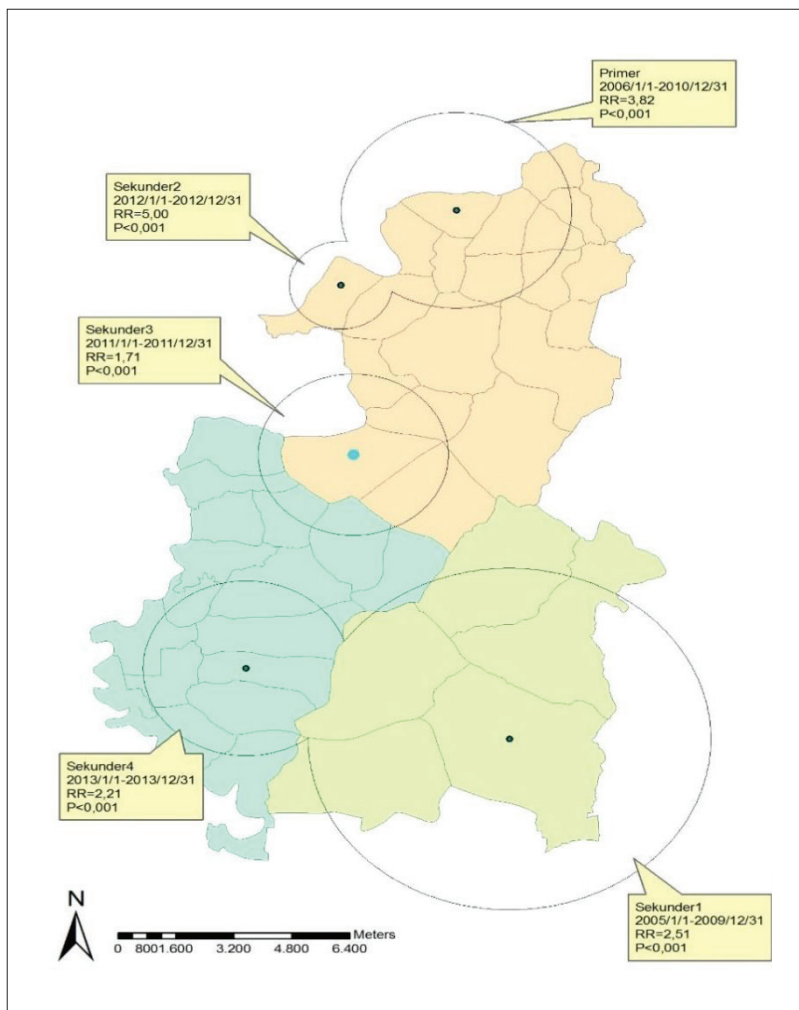
Keterangan:

Tipe : A: jenis *most likely cluster*; dan B: *secondary cluster*

N : jumlah *cluster* desa yang diidentifikasi dengan analisis *space-time*

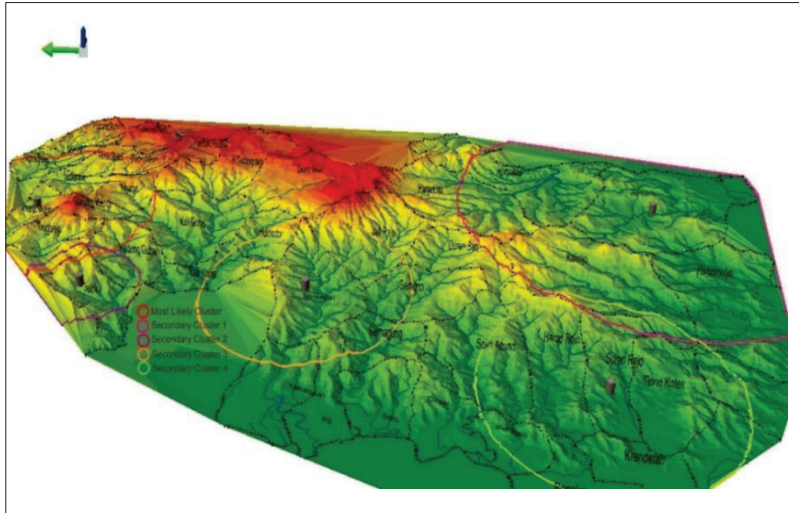
RR : *relative risk*

Sumber: Rejeki et al. (2019)



Sumber: Rejeki et al. (2019)

Gambar 4.4 Lokasi yang terdeteksi *cluster* malaria dengan analisis *space-time* tahun 2005–2015 didominasi Kabupaten Purworejo.



Sumber: Rejeki et al. (2019)

Gambar 4.5 Peta 3D cluster malaria dengan analisis space-time tahun 2005–2015 menunjukkan wilayah ekosistem Menoreh berisiko malaria.

Gambar 4.5 menunjukkan *cluster* primer terjadi di wilayah Puskesmas Kaligesing, *cluster* sekunder berturut-turut Kecamatan Kokap, Kecamatan Kaligesing, dan Kecamatan Bagelen. Hasil ini menunjukkan wilayah Menoreh masih merupakan wilayah berisiko malaria.

2. Pemanfaatan Epidemiologi Spasial pada Penyakit Demam Berdarah Dengue

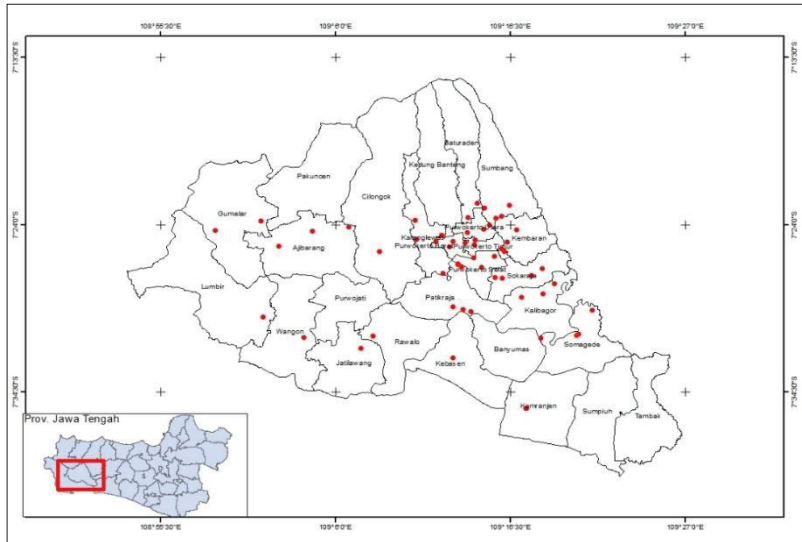
Dalam perumusan kebijakan, pengambilan keputusan, dan atau pelaksanaan kegiatan yang berhubungan dengan demam berdarah dengue (DBD), maka informasi spasiotemporal penyakit DBD diperlukan. Analisis spasiotemporal dalam epidemiologi sangat bermanfaat, terutama untuk mengevaluasi terjadinya perbedaan kejadian penyakit menurut area geografi/wilayah dan mengidentifikasi pengelompokan atau *clustering* penyakit. Manfaat analisis *clustering*, yaitu menampilkan *surveillance geographical* suatu penyakit dan

mengidentifikasi *cluster* penyakit secara spasial atau *space-time*, serta mengetahui apakah *cluster* signifikan secara statistik; mengetahui apakah suatu penyakit terdistribusi secara *random* menurut tempat, menurut waktu, serta menurut tempat dan waktu; mengevaluasi signifikansi statistik dari alarm *cluster* suatu penyakit; menampilkan prospektif *real-time* atau *real-periodic* dari surveilans penyakit untuk deteksi dini wabah (Wardani et al., 2013). Analisis spasiotemporal yang digunakan, meliputi analisis *overlay*, *buffering*, dan *clustering*. Analisis *overlay* adalah kegiatan untuk memperoleh informasi baru dengan menumpuk dua peta atau dua data spasial atau lebih atau dengan istilah lain menumpang-susunkan dua peta atau lebih untuk memperoleh informasi baru. Analisis ini mengintegrasikan dua atau lebih aspek keruangan yang berbeda. Analisis *buffering* adalah analisis spasial yang menghasilkan daerah batasan yang melingkupi objek (wilayah baru). Analisis ini menghasilkan *buffer*/penyangga yang berbentuk lingkaran yang melingkupi suatu objek sebagai pusatnya sehingga bisa mengetahui berapa parameter objek dan luas wilayah. Analisis *clustering* adalah analisis untuk mengidentifikasi kumpulan *cluster* (kelompok) berdasarkan atas kesamaan. Analisis ini mengelompokkan objek berdasarkan hubungan antar objek dengan prinsip untuk memaksimalkan kesamaan antar anggota satu kelas dan meminimumkan kesamaan antar kelas/*cluster*.

Dari hasil analisis spasiotemporal ini bisa digambarkan transmisi penularan penyakit DBD menurut tempat, menurut waktu, serta menurut tempat dan waktu sehingga sangat bermanfaat dalam melakukan pengendalian supaya tepat sasaran dan waktu pelaksanaannya. Berikut ini contoh penerapan analisis spasial pada penyakit DBD di Kabupaten Banyumas tahun 2018 (Rejeki et al., 2021).

1) Sebaran kasus DBD di Kabupaten Banyumas tahun 2018

Analisis spasial digunakan untuk melihat bagaimana sebaran kasus DBD di Kabupaten Banyumas. Sebaran kasus ini diperoleh dari koordinat rumah penderita DBD dan dioverlaykan dengan peta tematik



Sumber: Rejeki et al. (2021)

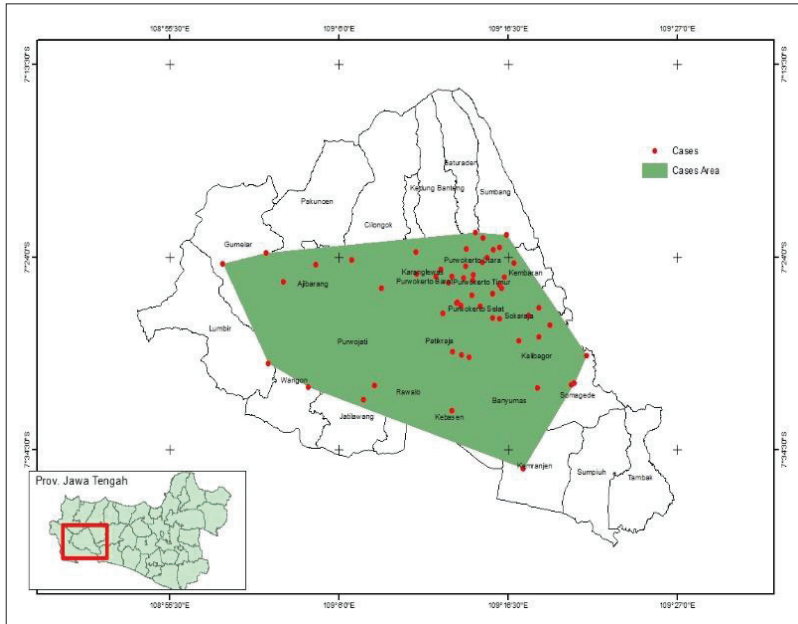
Gambar 4.6 Sebaran Kasus DBD di Kabupaten Banyumas Tahun 2018

Kabupaten Banyumas. Peta penyebaran kasus DBD di Kabupaten Banyumas pada tahun 2018 disajikan pada Gambar 4.6. Terdapat 57 kasus yang wilayah terbanyak didominasi wilayah dekat dengan pusat pemerintahan Kabupaten Banyumas di Purwokerto.

Gambar 4.6 menunjukkan selama tahun 2018 sebaran kasus DBD di Kabupaten Banyumas terbanyak berada di 3 kecamatan, yaitu Purwokerto Timur, Purwokerto Barat, dan Somagede.

2) Luas sebaran kasus DBD di Kabupaten Banyumas tahun 2018

Peta yang menunjukkan luas sebaran kasus DBD di Kabupaten Banyumas tahun 2018 dapat dilihat pada Gambar 4.7. Luas sebaran kasus ini didapatkan dengan menghitung luasan wilayah berdasarkan titik-titik terluar dari kasus DBD. Gambar 4.7 menunjukkan bahwa luas sebaran kasus DBD di Kabupaten Banyumas tahun 2018, yaitu seluas 627.798.503,7 m².

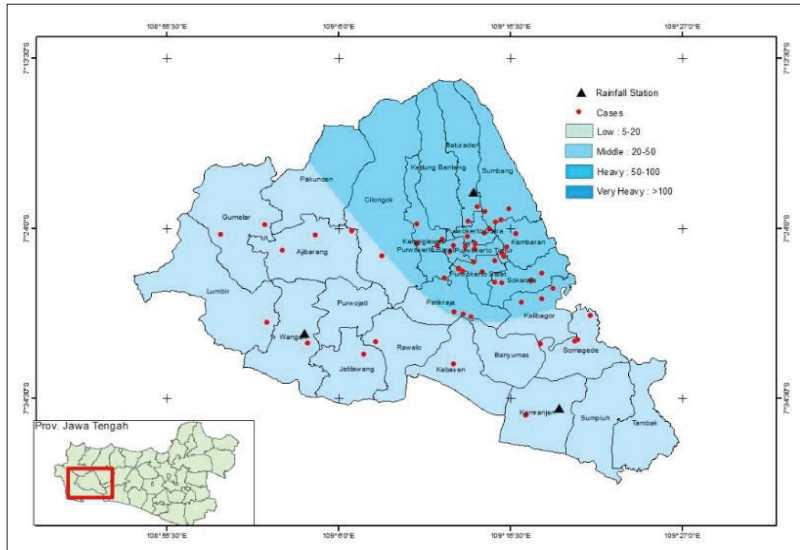


Sumber: Rejeki et al. (2021)

Gambar 4.7 Luas Sebaran Kasus DBD di Kabupaten Banyumas Tahun 2018

3) Peta *overlay* kasus DBD dengan curah hujan di Kabupaten Banyumas tahun 2018

Peta curah hujan ini dibuat dengan menggunakan metode interpolasi dari data curah hujan dari 3 stasiun hujan yang ada di Kabupaten Banyumas, yaitu Stasiun Wangon, Stasiun Baturraden, dan Stasiun Kemranjen. Metode interpolasi digunakan dengan memanfaatkan data dari beberapa data yang sudah diketahui untuk mengestimasi nilai pada wilayah yang tidak diketahui sehingga sebaran nilai pada seluruh wilayah diketahui. Pada interpolasi curah hujan, dengan menggunakan data pengukuran dari 3 stasiun kemudian digunakan untuk mengestimasi curah hujan di daerah lain di luar 3 wilayah tersebut. Berikut adalah peta *overlay* kasus DBD dengan curah hujan di Kabupaten Banyumas pada tahun 2018.



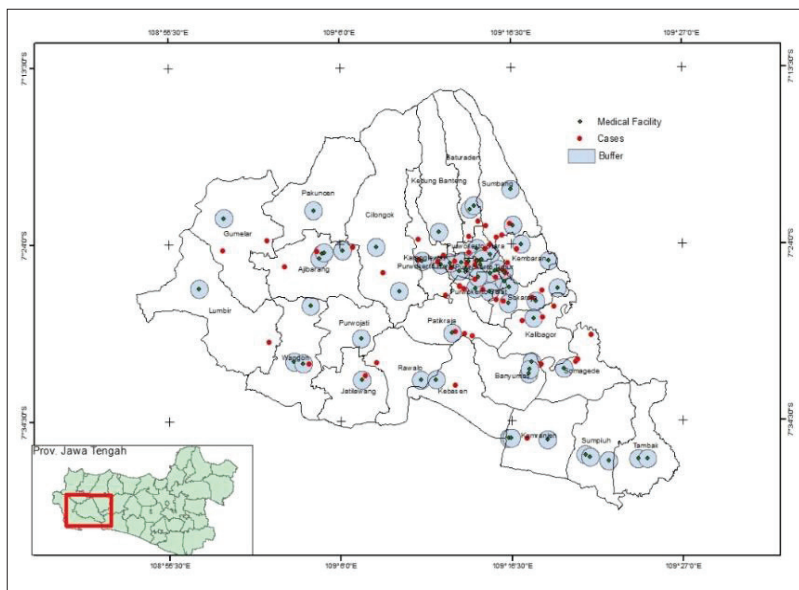
Sumber: Rejeki et al.(2021)

Gambar 4.8 Peta *Overlay* Kasus DBD dengan Curah Hujan di Kabupaten Banyumas Tahun 2018

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa kasus DBD yang terjadi di Kabupaten Banyumas pada tahun 2018 lebih banyak terjadi pada wilayah dengan curah hujan yang sedang. Pada wilayah yang curah hujan sedikit, kejadian DBD juga cenderung lebih sedikit. Wilayah dengan curah hujan ringan/sedikit, meliputi Kecamatan Kebasen, Banyumas, Kemranjen, Jatilawang, Somagede, Wangon, Rawalo, Ajibarang, Lumbir, dan Gumelar. Wilayah perkotaan di Kabupaten Banyumas, yaitu sekitaran Purwokerto yang meliputi Purwokerto Utara, Selatan, Timur, dan Barat merupakan wilayah dengan curah hujan sedang.

- 4) Peta *buffering* kasus DBD dengan fasilitas kesehatan di Kabupaten Banyumas tahun 2018

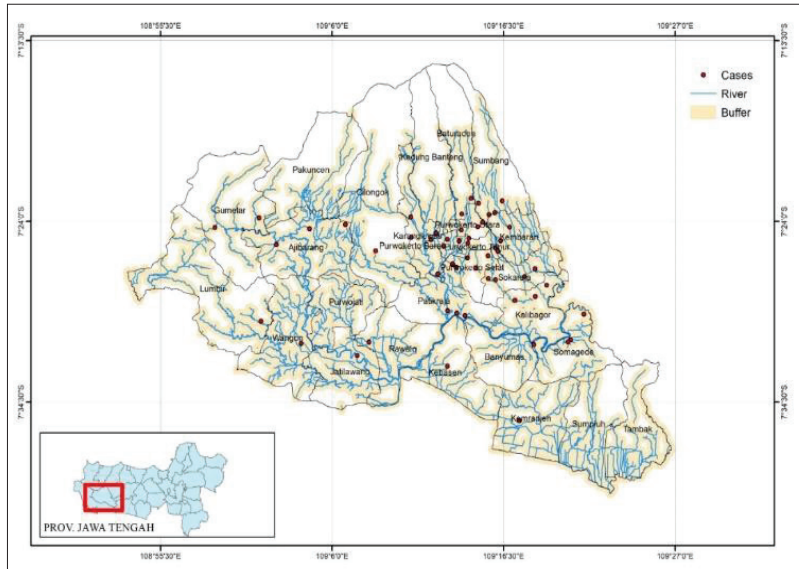
Analisis *buffering* digunakan untuk melihat daerah atau zona keterjangkauan atau perluasan suatu objek dengan ukuran tertentu.



Sumber: Rejeki et al. (2021)

Gambar 4.9 Peta *Buffering* Kasus DBD dengan Fasilitas Kesehatan yang Ada di Kabupaten Banyumas Tahun 2018.

Kasus ini dapat digunakan untuk melihat keterjangkauan pelayanan kesehatan terhadap kasus DBD yang terjadi. Sementara itu, peta *buffering* kasus DBD dengan fasilitas kesehatan yang ada di Kabupaten Banyumas pada tahun 2018 dapat dilihat pada Gambar 4.9. *Buffering* di peta ini merupakan lokasi fasilitas kesehatan yang ada di Kabupaten Banyumas, yang meliputi Rumah Sakit, Puskesmas, dan Poliklinik. Gambar 4.9 menunjukkan sebagian besar kasus DBD yang terjadi di Kabupaten Banyumas tahun 2018 berlokasi dekat dengan fasilitas kesehatan, yaitu berjarak dengan radius kurang dari 1 km dari fasilitas kesehatan.



Sumber: Rejeki et al. (2021)

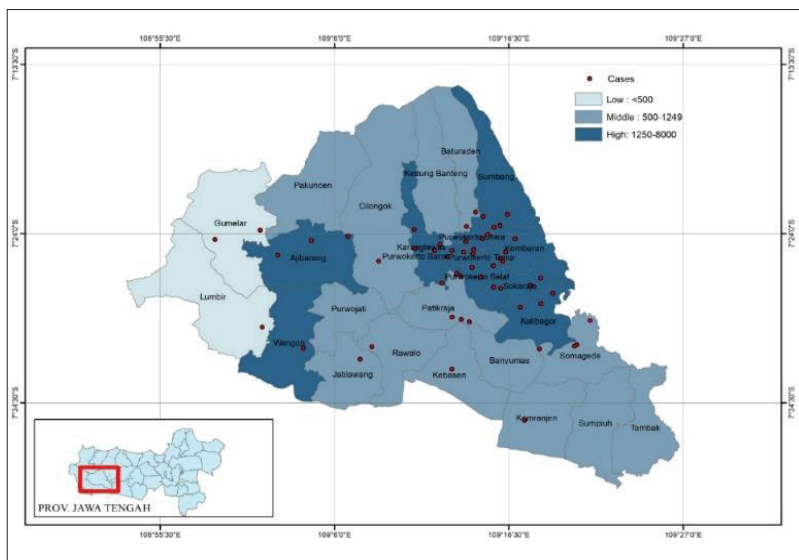
Gambar 4.10 Peta *Buffering* Kasus DBD dengan Sungai yang Ada di Kabupaten Banyumas Tahun 2018

- 5) Peta *Buffering* Kasus DBD terhadap lokasi Sungai di Kabupaten Banyumas Tahun 2018

Peta *buffering* kasus DBD terhadap sungai di wilayah Kabupaten Banyumas pada tahun 2018 dapat dilihat pada Gambar 4.10. Gambar 4.10 menunjukkan bahwa sebaran kasus DBD di Kabupaten Banyumas tahun 2018 tidak mendekati aliran sungai, ada cukup banyak sungai yang ada di Kabupaten Banyumas, dan kasus DBD yang terjadi tidak di daerah aliran sungai.

- 6) Peta *overlay* kasus DBD terhadap kepadatan penduduk di Kabupaten Banyumas tahun 2018

Kepadatan penduduk diperoleh dengan mencari luas kecamatan di bagi dengan jumlah penduduk yang ada di kecamatan tersebut. Makin warna biru menjadi gelap maka menunjukkan kepadatan penduduk yang lebih tinggi. Berikut adalah peta *overlay* kasus DBD dengan kepadatan penduduk di Kabupaten Banyumas tahun 2018.



Sumber: Rejeki et al. (2021)

Gambar 4.11 Peta *Overlay* Kasus DBD terhadap Kepadatan Penduduk di Kabupaten Banyumas Tahun 2018

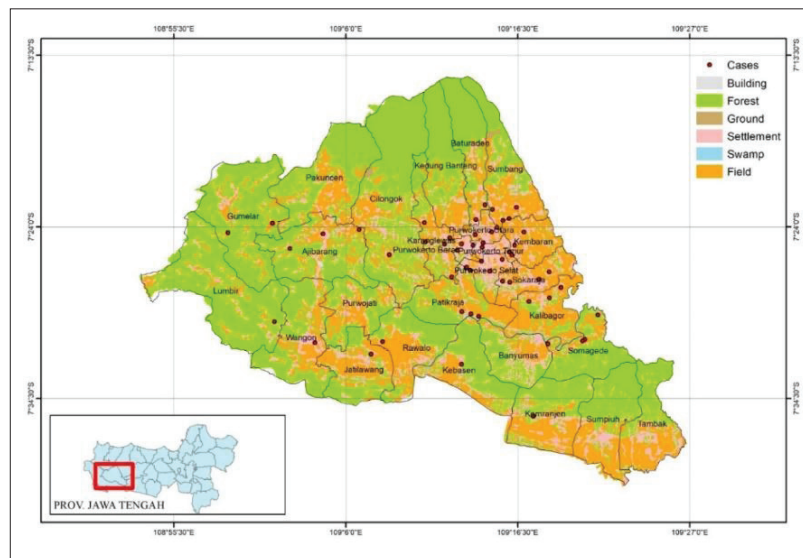
Gambar 4.11 menunjukkan bahwa kasus DBD yang terjadi di Kabupaten Banyumas terjadi pada wilayah kecamatan yang lebih padat penduduknya. Pada wilayah yang jarang penduduknya, memperlihatkan kasus DBD yang lebih sedikit jumlahnya. Wilayah perkotaan Purwokerto, yang meliputi Purwokerto Utara, Purwokerto Selatan, Purwokerto Timur, dan Purwokerto Barat mempunyai kepadatan penduduk yang lebih tinggi dan kasus DBD juga lebih banyak pada daerah tersebut.

Wilayah dengan angka kepadatan penduduk tertinggi (>1.250 jiwa/km²), yaitu di Kecamatan Purwokerto Utara, Kecamatan Purwokerto Timur, Kecamatan Purwokerto Barat, Kecamatan Purwokerto Selatan, Kecamatan Kembaran, Kecamatan Ajibarang, Kecamatan Sokaraja, Kecamatan Sumbang, Kecamatan Wangon,

dan Kecamatan Karanglewas. Wilayah dengan angka kepadatan penduduk terendah (<500 jiwa/km²), yaitu Kecamatan Lumbir dan Kecamatan Gumelar. Pada spasial, menunjukkan bahwa kasus DBD tertinggi terjadi di wilayah perkotaan, yaitu Kecamatan Purwokerto Utara, Kecamatan Purwokerto Timur, Kecamatan Purwokerto Selatan, dan Kecamatan Purwokerto Barat, yang memiliki angka kepadatan penduduk dengan kategori tinggi, sedangkan kasus DBD terendah terjadi di Kecamatan Lumbir yang memiliki angka kepadatan penduduk dengan kategori rendah.

- 7) Peta *overlay* kasus DBD terhadap pemanfaatan lahan di Kabupaten Banyumas tahun 2018

Berikut ini adalah peta *Overlay* kasus DBD terhadap pemanfaatan lahan di Kabupaten Banyumas pada tahun 2018 (Gambar 4.12).



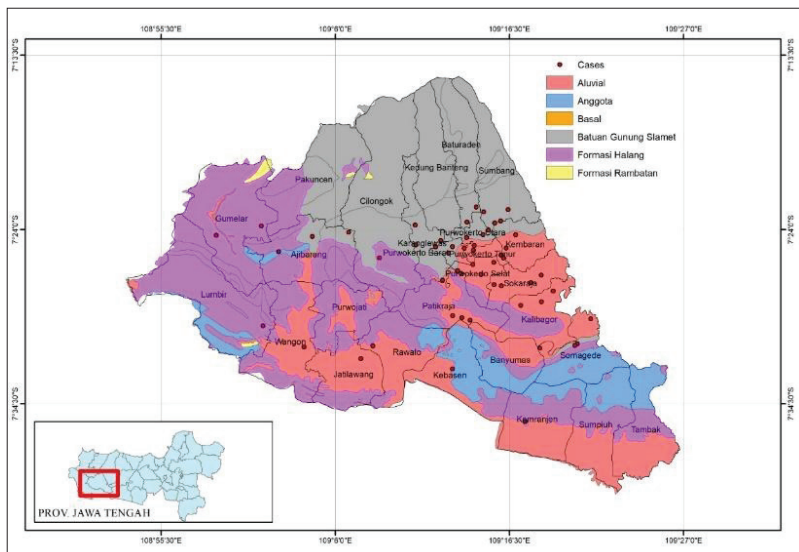
Sumber: Rejeki et al. (2021)

Gambar 4.12 Peta *Overlay* Kasus DBD terhadap Pemanfaatan Lahan di Kabupaten Banyumas Tahun 2018

Simbol warna pada Gambar 4.12 antara lain warna abu-abu (gedung), hijau (hutan/perbukitan), coklat (tanah lapangan), merah muda (permukiman), biru (rawa), dan oranye (sawah). Peta *overlay* kasus DBD dengan pemanfaatan lahan ini menunjukkan bahwa kasus DBD di Kabupaten Banyumas tahun 2018 lebih banyak berada pada wilayah permukiman penduduk. Pada wilayah hijau, yaitu perbukitan dan hutan, dilaporkan jarang ditemukan kasus DBD.

8) Peta *overlay* kasus DBD terhadap jenis batuan di Kabupaten Banyumas tahun 2018

Peta *overlay* kasus DBD dengan jenis batuan di Kabupaten Banyumas pada tahun 2018 dapat dilihat pada Gambar 4.13. Gambar 4.13 menunjukkan bahwa kejadian DBD lebih banyak terdapat pada wilayah dengan jenis batuan aluvial dan batuan Gunung Slamet.

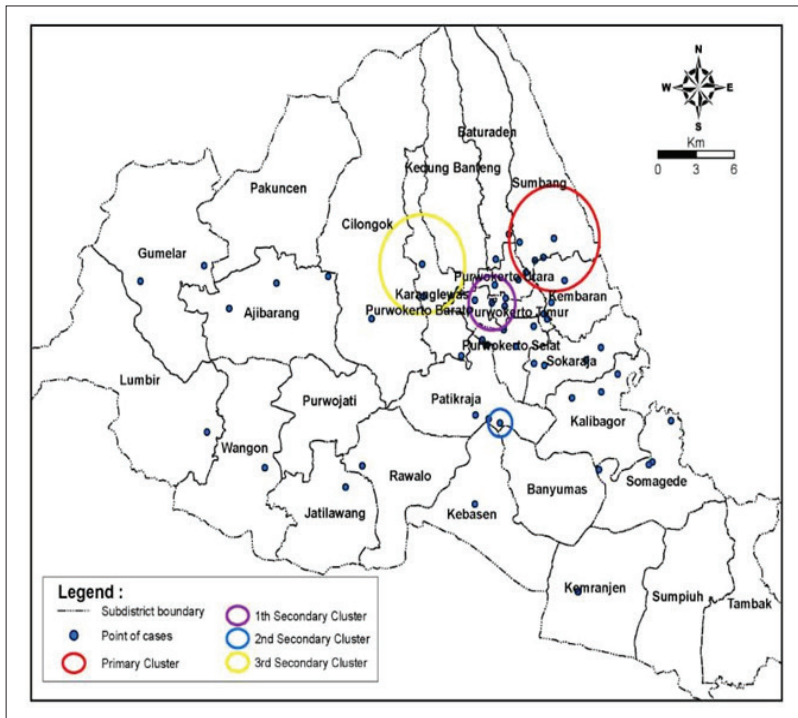


Sumber: Rejeki et al. (2021)

Gambar 4.13 Peta *Overlay* Kasus DBD terhadap Jenis Batuan di Kabupaten Banyumas Tahun 2018

g) Analisis *clustering* kasus DBD di Kabupaten Banyumas tahun 2018

Analisis *clustering* ini dilakukan dengan 2 tahap. Tahap pertama dilakukan dengan *software* Satscanm untuk melihat uji statistik dan wilayah mana yang terjadi *cluster* primer dan sekunder. Selanjutnya, tahap kedua adalah pemetaan hasil Satscan menggunakan ArcGis untuk mengetahui letak pengelompokan yang terjadi. Analisis *clustering* dilakukan untuk mengetahui pengelompokan kasus DBD berdasarkan tempat dan waktu, yang tempatnya berdekatan dan waktunya hampir bersamaan akan membentuk kelompok/*cluster*. Gambar 4.14 adalah hasil analisis *clustering* kasus DBD terkait lokasi dan waktu di Kabupaten Banyumas tahun 2018.



Sumber: Rejeki et al. (2021)

Gambar 4.14 Hasil Analisis *Clustering* Kasus DBD di Kabupaten Banyumas Tahun 2018

Hasil analisis dengan Satscan menunjukkan pengelompokan kasus DBD di Kabupaten Banyumas tahun 2018 menghasilkan *cluster* primer (*most likely cluster*) dan 3 *cluster* sekunder (*secondary cluster*). *Most likely cluster* (*cluster* primer) terjadi pada 13 Maret 2018 sampai 23 April 2018, dengan jumlah 6 kasus DBD dan berpusat pada titik koordinat (-7.380000 S, 109.273611 E) dengan radius pengelompokan sejauh 3,53 km dan secara statistik signifikan ($p=0,001$). Wilayah *cluster* primer ini merupakan perpaduan 4 wilayah administrasi, yaitu Kecamatan Sumbang, Kembaran, Purwokerto Utara, dan Baturraden. Dari hasil Satscan tersebut, dapat disimpulkan bahwa sebaran kasus DBD di Kabupaten Banyumas berdistribusi tidak *random*. Hal ini menjelaskan jika ada satu penderita DBD dalam satu wilayah tersebut, penduduk yang berdomisili dengan radius sejauh 3,53 km dari tempat kasus DBD tinggal, akan memiliki peluang sangat besar (*high risk*) terkena penularan DBD apabila secara kewilayahan terdapat hubungan yang bermakna antara faktor lingkungan dengan kejadian DBD. *Cluster* primer adalah *cluster*/kelompok yang pertama terdeteksi, dan *cluster* sekunder adalah *cluster* berikutnya setelah *cluster* primer.

Pengelompokan kasus sekunder (*secondary cluster*) pertama di Kecamatan Purwokerto Utara dan Timur yang berpusat pada titik koordinat (-7.418889 S, 109.229444 E) dengan radius pengelompokan 1,82 km sebanyak 5 kasus DBD dan tidak bermakna secara statistik $p=0,200$ yang terjadi pada tanggal 19 Juni 2018 sampai 13 Agustus 2018. Pengelompokan kasus sekunder kedua di Kecamatan Patikraja berpusat pada titik koordinat (-7.491111 S, 109.235278 E) dengan radius pengelompokan 0,93 km sebanyak 2 kasus yang terjadi pada tanggal 14 Agustus 2018 sampai 10 September 2018 dan tidak bermakna secara statistik $p=0,375$.

Pengelompokan kasus sekunder ketiga di Kecamatan Karanglewes berpusat pada titik koordinat (-7.395556 S, 109.180000 E) dengan radius pengelompokan 3,33 km sebanyak 3 kasus yang terjadi pada tanggal 25 September 2018 sampai 5 November 2018 dan tidak bermakna secara statistik $p=0,540$.

F. Penutup

Pemanfaatan sistem informasi geografis (SIG) terutama dalam analisis spasial membantu dalam merumuskan kebijakan penanggulangan penyakit tular vektor terutama malaria dan demam berdarah dengue. Analisis spasial dalam pengendalian malaria dan demam berdarah dengue ini digunakan untuk menentukan target intervensi berdasarkan *trend* lokal transmisi. Sementara itu, informasi spasial ini digunakan untuk merencanakan pengendalian penyakit malaria dan DBD berdasarkan informasi yang didapat, yaitu informasi terkait tempat pengelompokan (cluster), waktu, dan bisa kita kaitkan dengan atribut, seperti kepadatan penduduk, pemanfaatan lahan, jenis batuan, pelayanan kesehatan, keberadaan sungai, dan aspek lingkungan lainnya.

Referensi

- Alemu, K., Worku, A., Berhane, Y., & Kumie, A. (2014). Spatiotemporal clusters of malaria cases at village level, Northwest Ethiopia. *Malaria Journal*, 13(1), 223. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-13-223>
- Alemu, K., Worku, A., & Berhane, Y. (2013). Malaria Infection Has Spatial, Temporal, and Spatiotemporal Heterogeneity in Unstable Malaria Transmission Areas in Northwest Ethiopia. *PLoS One*, 8(11), 1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079966>
- Anselin, L. (2003). GeoDa™ 0.9 user's guide. *Design*, 126.
- Boewono, D. T., Widiarti, Ristiyanto, & Widyastuti, U. (2012). Studi bio-epidemiologi dan analisis spasial malaria daerah lintas batas Indonesia-Malaysia (Pulau Sebatik) Kabupaten Nunukan Provinsi Kalimantan Timur. *Buletin Penelitian Kesehatan*, 40(4), 171–180. <https://media.neliti.com/media/publications-test/20660-studi-bio-epidemiologi-dan-analisis-spas-65dfba09.pdf>
- Bousema, T., Griffin, J. T., Sauerwein, R. W., Smith, D. L., Churcher, T. S., Takken, W., Ghani, A., Drakeley, C., & Gosling, R. (2012). Hitting hotspots: Spatial targeting of malaria for control and elimination. *PLoS Medicine*, 9(1), 1–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001165>
- Carter, R., Mendis, K. N. N., & Roberts, D. (2000). Spatial targeting of interventions against malaria. *Bulletin of the World Health Organization*, 78(12), 1401–1411. <https://doi.org/S0042-96862000001200007>

- Centers for Disease Control and Prevention. (2019). *What is GIS?*. <https://www.cdc.gov/gis/what-is-gis.htm>.
- Clements, A. C. A., Reid, H. L., Kelly, G. C., & Hay, S. I. (2013). Further shrinking the malaria map: How can geospatial science help to achieve malaria elimination? *The Lancet Infectious Diseases*, 13(8), 709–718. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(13\)70140-3](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(13)70140-3)
- Coleman, M., Coleman, M., Mabuza, A. M., Kok, G., Coetzee, M., & Durrheim, D. N. (2009). Using the SaTScan method to detect local malaria clusters for guiding malaria control programmes. *Malaria Journal*, 8(1), 68. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-8-68>
- Coulibaly, D., Rebaudet, S., Travassos, M., Tolo, Y., Laurens, M., Kone, A. K., Traore, K., Guindo, A., Diarra, I., Niangaly, A., Daou, M., Dembele, A., Sissoko, M., Kouriba, B., Dessay, N., Gaudart, J., Piarroux, R., Thera, M. A., Plowe, C. V., & Doumbo, O. K. (2013). Spatio-temporal analysis of malaria within a transmission season in Bandiagara, Mali. *Malaria Journal*, 12(1), 1. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-12-82>
- Dhimal, M., O'Hara, R. B., Karki, R., Thakur, G. D., Kuch, U., & Ahrens, B. (2014). Spatio-temporal distribution of malaria and its association with climatic factors and vector-control interventions in two high-risk districts of Nepal. *Malaria journal*, 13, 457, 1–14. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-13-457>
- Elliott, P., & Wartenberg, D. (2004). Spatial epidemiology: Current approaches and future challenges. *Environmental Health Perspectives*, 112(9), 998–1006. <https://doi.org/10.1289/ehp.6735>
- Ernst, K. C., Adoka, S. O., Kowuor, D. O., Wilson, M. L., & John, C. C. (2006). Malaria hotspot areas in a highland Kenya site are consistent in epidemic and non-epidemic years and are associated with ecological factors. *Malaria journal*, 5(1), 78. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-5-78>
- Haque, U., Sunahara, T., Hashizume, M., Shields, T., Yamamoto, T., Haque, R., & Glass, G. E. (2011). Malaria prevalence, risk factors and spatial distribution in a Hilly forest area of Bangladesh. *PLoS ONE*, 6(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018908>
- Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 293/Menkes/SK/IV/2009 tanggal 28 April 2009 tentang Eliminasi malaria di Indonesia. (2009). <https://repository.kemkes.go.id/book/1136>
- Kulldorff, M. (2015). *SaTScan User Guide for Version 9.4*. <http://www.satscan.org>

- Lai, P. C., So, F. M., & Chan, K. W. (2009). *Spatial epidemiological approach in disease mapping and analysis*. CRC Press LLC.
- Pfeiffer, D. U., Robinson, T. P., Stevenson, M., Stevens, K. B., Rogers, D. J., & Clements, A. C. A. (2008). *Spatial Analysis in Epidemiology*. Oxford University Press.
- Rejeki, D. S. S., Fuad, A., Widartono, B. S., Murhandarwati, E. E. H., & Kusnanto, H. (2019). Spatiotemporal patterns of malaria at cross boundaries area in Menoreh Hills, Java, Indonesia. *Malaria Journal*, 8, 80, 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12936-019-2717-y>
- Rejeki, D. S. S., Nurhayati, N., & Aji, B. (2021). A spatiotemporal analysis of dengue hemorrhagic fever in Banyumas, Indonesia. *International Journal of Public Health Science*, 10(2), 231–240. <https://doi.org/10.11591/ijphs.v10i2.20713>
- Sulistiyawati. (2012). *Spasial clustering pada kejadian luar biasa malaria di Kabupaten Purworejo*. Universitas Gadjah Mada.
- Tonnang, H. E. Z., Kangelawe, R. Y. M., & Yanda, P. Z. (2010). Predicting and mapping malaria under climate change scenarios: the potential redistribution of malaria vectors in Africa. *Malaria journal*, 9, 111. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-9-111>
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2011 Tentang Informasi Geospasial. (2011). https://www.dpr.go.id/dokjdih/document/uu/UU_2011_4.pdf
- Waller, L. A., & Gotway, C. A. (2004). *Applied spatial statistics for public health data*. John Wiley & Sons, Inc.
- Wardani, D. W. S. R., Lazuardi, L., Mahendradhata, Y., Kusnanto, H. (2013). Pentingnya analisis cluster berbasis spasial dalam penanggulangan tuberkulosis di Indonesia. *Kesmas (Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional)*, 8(4), 147–151. <https://doi.org/10.21109/kesmas.v0i0.391>
- World Health Organization. (2006). *Public health mapping and GIS for global health security; A WHO strategic and operational framework*. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69715/WHO_CDS_GIS_2006.1_eng.pdf
- World Health Organization. (2023). *GIS centre for health*. <https://www.who.int/data/GIS>
- Xia, J., Cai, S., Zhang, H., Lin, W., Fan, Y., Qiu, J., Sun, L., Chang, B., Zhang, Z., & Nie, S. (2015). Spatial, temporal, and spatiotemporal analysis of malaria in Hubei Province, China from 2004–2011. *Malaria Journal*, 14(1), 145. <https://doi.org/10.1186/s12936-015-0650-2>

Zhang, W., Wang, L., Fang, L., Ma, J., Xu, Y., Jiang, J., Hui, F., Wang, J., Liang, S., Yang, H., & Cao, W. (2008). Spatial analysis of malaria in Anhui province, China. *Malaria Journal*, 7(1), 206. <http://doi.org/10.1186/1475-2875-7-206>

BAB 5

Potensi Penggunaan Gelombang Ultrasonik Jangkrik bagi Nyamuk Tular Vektor

Sama' Iradat Tito dan Leny Ardini Arianti

A. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara iklim tropis sehingga kondusif untuk hidup berbagai spesies nyamuk yang merupakan vektor bagi beberapa penyakit (Harviyanto & Windraswara, 2017). Masalah ini dikhawatirkan berpotensi menimbulkan banyak penyakit yang disebabkan oleh nyamuk, seperti demam berdarah dengue (DBD), malaria, chikungunya, kaki gajah, dan masih banyak lagi. Menurut data Kementerian Kesehatan (2022), jumlah kasus dengue di Indonesia mencapai 143.000 kasus dengan angka kejadian dengue terbanyak berada di Provinsi Jawa Barat, Jawa Timur, dan Jawa Tengah. Semua wilayah tersebut termasuk wilayah yang padat penduduk. Angka kematian akibat dengue pada tiga provinsi tersebut sebesar 58%

S. I. Tito* & L. A. Arianti

*Universitas Islam Malang, *e-mail*: sama_iradat_tito@unisma.ac.id

©2024 Editor & Penulis

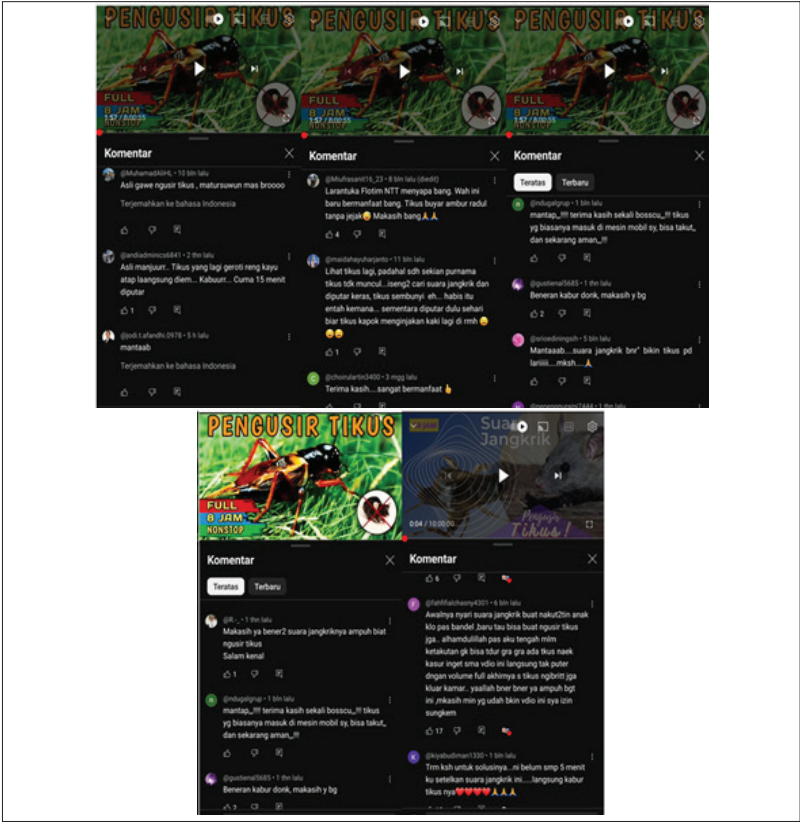
Tito, S. I. & Arianti, L. A. (2024). Potensi penggunaan gelombang ultrasonik jangkrik bagi nyamuk vektor tular. Dalam S. P. M. Wijayanti & A. L. Ramadona (Ed.), *Dinamika penyakit tular vektor nyamuk di Indonesia* (125–163). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.1589.c1275 E-ISBN: 978-602-6303-59-2

Buku ini tidak diperjualbelikan.

dari total 1.236 kematian. Tingginya angka kematian akibat vektor penyakit, yakni nyamuk tentu tidak bisa dibiarkan begitu saja, perlu adanya solusi agar vektor nyamuk dapat terkendali. Hal ini kemudian menjadi masalah kesehatan terkait nyamuk sebagai vektor penyakit di Indonesia.

Berbagai upaya pencegahan dan pengendalian vektor nyamuk telah dilakukan guna mengurangi timbulnya penyakit yang ditularkan oleh nyamuk, seperti pemberantasan jentik nyamuk, *fogging*, pembakaran/obat nyamuk bakar elektrik, penggunaan kelambu, penggunaan obat nyamuk, penyemprotan insektisida, serta minum obat pencegahan saat bepergian ke daerah endemis (khusus malaria) (Kemenkes RI, 2007). Akan tetapi, hampir semua tindakan tersebut dapat menimbulkan kerugian baik jangka pendek maupun jangka panjang bagi manusia maupun makhluk hidup lainnya. Penggunaan bahan kimia seperti insektisida secara berlebihan tentunya tidak baik bagi kesehatan dan dapat menimbulkan keracunan bahkan kematian. *Fogging* dan obat nyamuk dapat membunuh nyamuk dewasa, tetapi jentiknya masih tetap ada. Permasalahan resistansi insektisida juga merupakan tantangan dalam pengendalian vektor nyamuk secara kimiawi (Sarudji, 2006). Selain itu, terdapat metode yang diterapkan dalam upaya pencegahan penyakit akibat nyamuk *Aedes*, yakni dengan metode COMBI (*Communication for behavioral impact*). Metode ini berfokus pada komunikasi untuk terbentuknya perubahan perilaku agar melaksanakan pemberantasan sarang nyamuk (PSN) secara rutin dan spesifik. Kegiatan PSN COMBI dilaksanakan melalui tiga tahap manajemen PSN COMBI, yaitu perencanaan, pelaksanaan, dan monitoring serta dilaksanakan evaluasi proses dan evaluasi tahap akhir kegiatan secara keseluruhan. Kegiatan PSN DBD (pemberantasan sarang nyamuk demam berdarah dengue) spesifik yang dilakukan masyarakat didukung dengan kunjungan rumah secara berkala serta komunikasi dan motivasi melalui penyuluhan oleh Jumantik kepada keluarga terbukti efektif dalam meningkatkan Angka Bebas Jentik di Kelurahan Sidomulyo Timur menjadi 97,36% dalam 10 minggu pelaksanaan hingga 11 Juni 2008 (Hendrayanti & Bachtiar, 2008). Metode ini memiliki hambatan saat pelaksanaan, yakni pada waktu, tenaga, dan

membutuhkan kerja sama berbagai pihak (Hendrayanti & Bachtiar, 2008). Sejak ditemukannya hubungan antara nyamuk dan penularan virus, pencegahan penyebaran penyakit dan pengendalian populasi nyamuk menjadi prioritas utama (Medlock et al., 2005). Meskipun metode pengendalian telah digunakan, penyakit yang ditularkan oleh nyamuk masih berkembang pesat di banyak negara dan menyebabkan jutaan kematian (Tren & Bate, 2001). Berbagai upaya telah dilakukan dalam rangka pengendalian vektor nyamuk, salah satu upaya yang layak dipertimbangkan adalah dengan memanfaatkan gelombang ul-



Sumber: Play On (2021); Semua Suara (2022)

Gambar 5.1 Pemanfaatan Gelombang Ultrasonik dalam Mengusir Hama

Buku ini tidak diperjualbelikan.

trasonik dalam pengendalian vektor. Contoh pemanfaatan gelombang ultrasonik dalam mengusir hama dapat dilihat dalam Gambar 5.1.

Gelombang ultrasonik merupakan gelombang mekanik longitudinal dengan frekuensi di atas 20 kHz. Gelombang ultrasonik memiliki potensi sebagai pengendali hama nyamuk. Salah satu penghasil gelombang ultrasonik secara alami dan mudah ditemukan oleh masyarakat adalah jangkrik. Keuntungan penggunaan gelombang ultrasonik yang dihasilkan oleh jangkrik adalah tidak menimbulkan pencemaran lingkungan, tidak menghasilkan suara yang mengganggu telinga manusia karena frekuensinya di luar rentang normal pendengaran manusia, serta dapat mengganggu kehidupan jentik nyamuk dan nyamuk dewasa secara termal akibat efek panas yang dihasilkan oleh gelombang ultrasonik dan efek lainnya (Tito, 2017). Berdasarkan hal tersebut, perlu ditelaah lebih lanjut potensi teknik pengendalian hama berbasis nyamuk dengan pemanfaatan gelombang ultrasonik yang lebih efektif dan efisien, salah satunya adalah biokontrol hama nyamuk dengan menggunakan Jangkrik (*Acheta domesticus*).

B. Potensi Penggunaan Gelombang Ultrasonik Jangkrik Bagi Nyamuk Tular Vektor

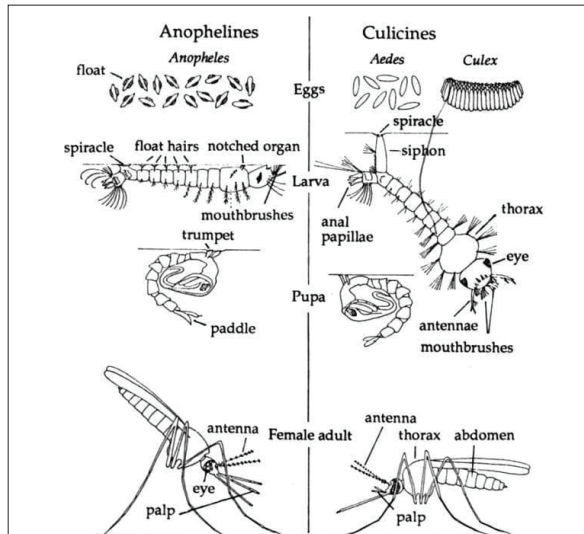
1. Biologi Nyamuk

Nyamuk termasuk dalam ordo Diptera (Lalat Sejati), dan dalam famili Culicidae. Ada 3 subfamili yaitu Anophelinae, Culicinae, dan Toxorhynchitinae (Snow, 1990). Nyamuk dari golongan Anophelinae dan Culicinae merupakan nyamuk yang mampu menyebarkan penyakit (Stone & Knight, 2007). Culicidae mempunyai sekitar 3.500 spesies yang dikelompokkan menjadi 42 genera dan 135 subgenera (Stone & Knight, 2007). Mereka ditemukan hampir di seluruh dunia, tetapi mayoritas ditemukan di daerah tropis dan subtropis. Iklim yang lebih hangat di daerah tropis memungkinkan mereka untuk aktif sepanjang tahun dengan kondisi ideal, yaitu panas dan lembap dengan curah hujan sedang. Keberadaan nyamuk sangat dipengaruhi oleh adanya curah hujan guna menentukan keberadaan tempat mereka berkembang biak. Di daerah beriklim panas mereka dapat menjadi lebih

aktif, dan curah hujan memberi mereka tempat di perairan untuk tahap larva dan kepompong (Gillett, 1971).

Perkembangbiakan nyamuk mengalami metamorfosis sempurna dalam siklus hidupnya, yang memiliki empat tahap perkembangan (telur, larva, pupa, dan dewasa) dan setiap tahap menghasilkan eksuvia (Cranston et al., 1987). Siklus hidupnya dimulai dengan lectures/bertelur di permukaan air, baik secara tunggal (*Anopheles*, *Aedes*, *Orthopodomyia*, dan *Kuliseta*, yakni subgenus *Culicella*), atau secara berkelompok (*Culex*, *Uranataenia*, *Coquillettidia*, dan *Kuliseta* subgenus *Culicella*) (Snow, 1990). Perbedaan siklus hidup antara famili Anophelinae dan Culicinae diilustrasikan pada Gambar 5.2.

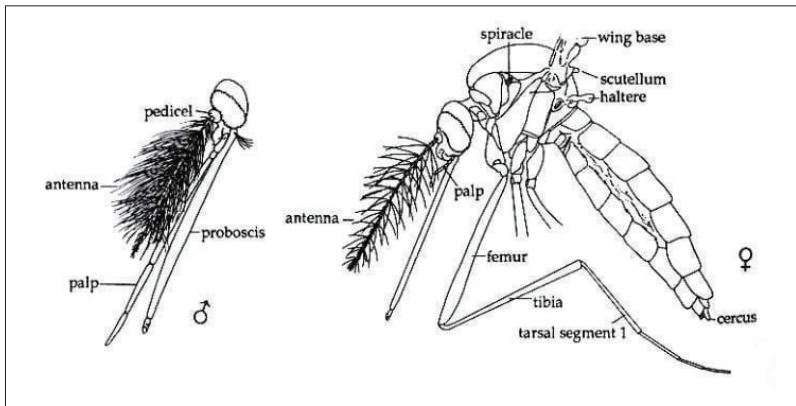
Beberapa nyamuk mampu bertelur di tanah yang lembap, seperti *Aedes* atau *Ochlerotatus*. Setelah telur menetas, mereka melewati empat instar larva. Perkembangan larva tergantung pada suhu, kepadatan populasi, dan ketersediaan makanan. Selama ini mereka memakan detritus, alga, dan biofilm. Larva dapat berkembang pada



Sumber: Snow (1990)

Gambar 5.2 Perbedaan Siklus Hidup *Anopheles* dan *Culicinae*

suhu lingkungan sekitar 28°C selama 10 hari, pada suhu air 30–40°C larva akan berkembang lebih cepat menjadi pupa dalam waktu 5–7 hari. Larva cenderung menyukai air yang bersih, namun dapat tetap hidup pada air yang keruh. Beberapa jentik nyamuk non-vektor juga dapat menjadi predator (Norris, 2004). Larva kemudian berkembang menjadi pupa yang memiliki bentuk bengkok, seperti udang dan kepalanya besar. Berbentuk seperti koma, gerakannya lambat, dan sering berada di permukaan air. Kemudian setelah 1–2 hari pupa



Sumber : Snow (1990)

Gambar 5.3 Ciri-Ciri dan Perbedaan Nyamuk Dewasa Jantan dan Betina

berubah menjadi nyamuk dewasa (Sonoto, 2009). Perbedaan nyamuk dewasa jantan dan betina dapat dilihat pada Gambar 5.3.

Nyamuk dewasa memiliki perbedaan antara jantan dan betina di mana nyamuk jantan umumnya memiliki ukuran lebih kecil dibandingkan dengan nyamuk betina. Adapun nyamuk jantan juga memiliki rambut-rambut tebal pada antenanya dibandingkan dengan nyamuk betina. Kelebihan yang dimiliki nyamuk yakni mampu berkembang biak di berbagai lingkungan. Sebagian besar nyamuk bersifat generalis dan memilih berbagai tempat bertelur, sedangkan nyamuk lainnya bersifat spesialis dan memilih habitat unik untuk bertelur. Nyamuk

spesialis cenderung menghilang setelah terjadinya penggunaan perubahan lahan, seperti penggundulan hutan, sedangkan generalis mampu bertahan hidup di berbagai habitat (Rattanaarithikul, Harbach, et al., 2005). Ada beberapa jenis lokasi oviposisi nyamuk yang dapat dikategorikan menjadi 2, yaitu lokasi air tanah dan lokasi kontainer. Lokasi air tanah meliputi sungai, danau, kolam tanah, dan masih banyak lagi. Lokasi wadah meliputi wadah buatan (ban, botol, gelas, kendi) atau wadah alami (daun-daun berguguran, lubang pohon, tunggul pohon, ketiak tanaman). Selain itu, nyamuk dapat berkembang biak di air permanen, air semi permanen, atau kolam sementara (Rattanaarithikul, Harbach, et al., 2005).

Anopheles dan *Culicine* memiliki perbedaan siklus hidup. Perbedaan tersebut terlihat dari jentik nyamuk yang dikenali dari sikat mulutnya yang berkembang dengan baik, papila anal di segmen anal, dan adanya spirakel (*Anopheles*) atau pernafasan menyedot (sisa genus) di segmen perut mereka (Snow, 1990). Faktor-faktor yang memengaruhi penyebaran larva antara lain medan, ketinggian, naungan, kondisi air (tawar, payau, tercemar), pergerakan air, suhu air, vegetasi air (misalnya alga), jenis sumber air, kelangguhan air, dan kompetisi (invertebrata lain seperti Odonata) (Rattanaarithikul, Harbach, et al., 2005). Larva memerlukan waktu beberapa hari hingga beberapa minggu untuk berkembang, tergantung pada tingkat nutrisi, suhu, persaingan, dan kondisi air (Becker et al., 2010). Nyamuk jantan menetas lebih dulu daripada nyamuk betina karena nyamuk betina setelah dewasa memerlukan darah untuk mengalami kopulasi (Herawati, 2009).

Nyamuk dewasa memakan cairan dari bunga dan buah-buahan, namun nyamuk betina pada sebagian besar spesies memerlukan darah untuk mendapatkan nutrisi yang cukup untuk perkembangan dan pematangan telur, yang dikenal sebagai *anautogenous* (Clements, 1992). Nyamuk betina diketahui mempunyai perilaku oviposisi yang kompleks, yang sangat memengaruhi lokasi bertelur. Nyamuk betina mungkin dapat mendeteksi tingkat pemangsaan atau potensi

persaingan dari nyamuk lain di habitat perairan, yang memengaruhi tempat telur diletakkan (Williams et al., 2008). Setelah nyamuk betina bertelur, siklus tersebut berulang. Nyamuk termasuk serangga antropofag karena sebagian besar spesies betina memakan darah manusia. Nyamuk termasuk hama yang signifikan tidak hanya bagi manusia, namun juga hewan peliharaan, dengan dampak yang berpotensi fatal (Snow, 1990). Nyamuk juga tergolong serangga yang memiliki sifat spesifik dan adaptif tinggal bersama dengan manusia.

2. Nyamuk sebagai Vektor Penyakit di Indonesia

Nyamuk berpotensi sebagai pembawa masalah bagi ruang hidup karena nyamuk berperan dalam penyebaran berbagai macam penyakit. Vektor penyakit diartikan sebagai jenis serangga tertentu yang dapat menularkan penyakit kepada penderita baru. Di dalam tubuh vektor, patogen biasanya berkembang sampai jumlah dan tahap tertentu, di mana agen masuk ke dalam tubuh vektor sehingga membawa penyakit baru. Keberadaan nyamuk sebagai vektor kini menjadi perhatian dunia termasuk Indonesia (Purnomo & Rahman, 2011). Genera nyamuk yang penting secara medis adalah nyamuk *aedes*, *anopheles*, *culex*, *haemagogus*, *mansonia*, dan *sabeth* karena perilaku mereka menghisap darah pada manusia, sedangkan *psorophora* dan *coquilletti* mempunyai kepentingan medis yang lebih rendah. Nyamuk dapat menularkan banyak penyakit seperti malaria (protozoa), filariasis (nematoda), demam berdarah chikungunya, Japanese B-encephalitis, dan demam kuning (virus) (Becker et al., 2010). Penyakit ini banyak ditemukan di daerah tropis dan subtropis.

Penyakit yang ditularkan oleh nyamuk yang saat ini ada di Indonesia, antara lain malaria, demam berdarah, filariasis perkotaan, filariasis pedesaan, dan chikungunya (Yap et al., 1994; Lam et al., 2001; Benitez et al., 2009), dan penyebaran penyakit ini diperkirakan akan meningkat seiring dengan perubahan iklim (Benitez, 2009). Perubahan iklim akibat pemanasan global sangat memengaruhi biologi dari nyamuk sebagai vektor pembawa virus penyakit. Faktor musim menjadi faktor yang berkontribusi terhadap peningkatan pe-

nyebaran nyamuk sehingga berpotensi menyebabkan wabah penyakit (Ismah et al.,2021).

Spesies nyamuk dalam genus *Aedes* tercatat sebanyak 100 spesies yang terdaftar dalam 27 subgenus (Nugroho et al., 2019). Seperti pada kasus DBD yang dibawa oleh spesies nyamuk *Aedes* sp. Dari data di seluruh dunia menunjukkan Asia menempati urutan pertama dalam jumlah penderita DBD setiap tahunnya. Terhitung sejak tahun 1968 hingga 2009, World Health Organization (WHO) mencatat negara Indonesia sebagai negara dengan kasus DBD tertinggi di Asia Tenggara (Kemenkes RI, 2018). Menurut data Kemenkes RI (2015) di Indonesia, pada tahun 2014 sampai pertengahan bulan Desember tercatat penderita demam berdarah di 34 provinsi di Indonesia sebanyak 71.668 orang, dan 641 di antaranya meninggal dunia. Penyakit ini ditemukan di Indonesia untuk pertama kalinya, yaitu di Kota Surabaya tahun 1968 (Tarigan et al., 2022).

Saat ini, pemerintah telah membuat strategi nasional dalam penanggulangan penyakit tular vektor nyamuk. Salah satu strategi tersebut adalah dengan meningkatkan pengendalian vektor yang efektif, aman, dan berkelanjutan. Strategi ini bertujuan untuk meningkatkan pencegahan melalui pengendalian vektor yang efektif, aman, dan berkelanjutan, yang melibatkan partisipasi masyarakat dan menggunakan teknologi tepat guna yang spesifik untuk daerah setempat. Strategi ini dinilai lebih efektif dibandingkan penggunaan *fogging* yang sering kali tidak mengikuti prosedur sehingga dapat memicu resistansi vektor terhadap insektisida dan mengurangi efektivitasnya dalam mengendalikan infeksi lokal dan menangani kejadian darurat (Kemenkes RI, 2022).

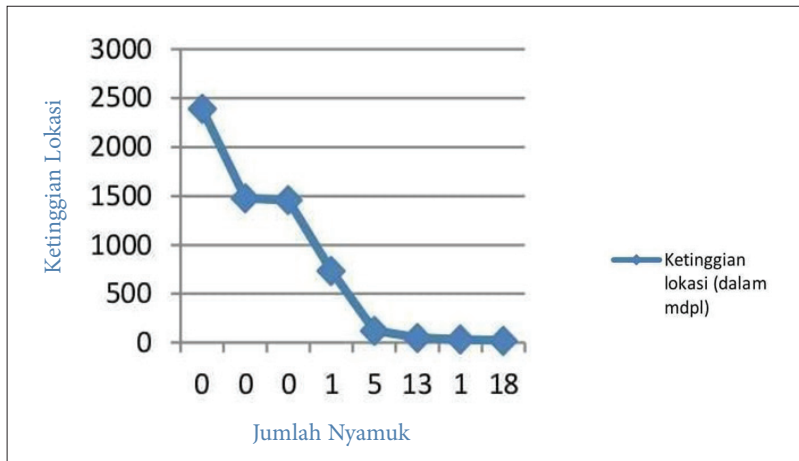
3. Perubahan Penggunaan Lahan dan Kelimpahan Nyamuk

Nyamuk bertanggung jawab atas penularan banyak patogen dan parasit yang penting secara medis seperti virus, bakteri, protozoa, dan nematoda yang menyebabkan penyakit serius, seperti malaria, demam berdarah, demam kuning, ensefalitis, atau filariasis (Kettle,

1995; Beaty & Marquardt, 1996; Lehane, 1991). Perubahan habitat yang dilakukan oleh manusia berpengaruh besar dalam mengubah keseimbangan ekologi tempat nyamuk berkembang biak, berkembang, dan menularkan penyakit (Patz et al., 2000; Norris, 2004). Perubahan penggunaan lahan meliputi penggundulan hutan, pembangunan pertanian, sistem pengendalian air (pengelolaan air), dan urbanisasi (Gratz 1999; Norris, 2004), yang dapat memengaruhi kelimpahan nyamuk, keanekaragaman hayati, perilaku menggigit manusia, dan kompetensi vektor (Patz et al., 2000). Dampak penggunaan lahan dan cuaca bersama-sama pada keberadaan dan kelimpahan nyamuk bersifat khusus spesies dan mungkin memiliki dampak yang berbeda pada suatu spesies yang mampu bertahan hidup yang berkaitan dengan (kemunculan) atau berkembang (kelimpahan) (Rakotoarinia et al., 2022). Selain itu, pemukiman manusia secara signifikan mengubah komposisi komunitas nyamuk di lanskap tropis, meningkatkan keberadaan, dan kelimpahan spesies antropofilik (Steiger, 2016).

Sistem pengendalian air seperti waduk, saluran irigasi, dan bendungan dapat menggeser populasi vektor nyamuk. Hal ini dapat menyediakan tempat perkembangbiakan vektor baru di mana air sebelumnya terbatas (misalnya saluran irigasi) atau dengan membendung air, yang berhubungan dengan prevalensi malaria yang lebih tinggi (Alemayehu et al., 1998). Di daerah perkotaan, pengelolaan limbah, limpasan air, sedimentasi, dan wadah buatan juga memberikan kontribusi sebagai tempat perkembangbiakan nyamuk (Norris, 2004). Wadah buatan, seperti ban, botol, ember, puntung air, gelas berpotensi menjadi tempat perkembangbiakan nyamuk dalam jumlah besar dan harus disingkirkan untuk mengurangi wabah penyakit (Norris 2004; Rattanaarithikul, Harbach, et al., 2005).

Ketinggian suatu wilayah menentukan suhu udara di sekitarnya. Makin tinggi suatu wilayah, akan makin sulit bagi nyamuk untuk bertahan hidup. Hal ini sesuai dengan diagram distribusi nyamuk yang telah dilakukan di daerah Sumatera Selatan oleh Anwar et al. (2014) mengenai distribusi nyamuk terhadap ketinggian suatu wilayah yang dijelaskan pada Gambar 5.4.



Sumber: Anwar et al. (2014)

Gambar 5.4 Distribusi Nyamuk *Aedes* sp. Berdasarkan Ketinggiannya di Sumatera Selatan

Pada ketinggian 1.458 m dpl, 1.477 m dpl, dan 2.392 m dpl, tidak ditemukan adanya nyamuk karena suhu di wilayah tersebut tidak dapat menunjang kehidupan nyamuk (Anwar et al., 2014). Nyamuk memiliki keterbatasan terbang pada lokasi-lokasi yang tinggi, hal ini juga perlu dipertimbangkan sebagai sebab tidak ditemukannya nyamuk pada lokasi yang tinggi (Anwar et al., 2014). Nyamuk memiliki keterbatasan terbang pada lokasi-lokasi yang tinggi (CDC, 2010), hal ini juga perlu dipertimbangkan sebagai sebab tidak ditemukannya nyamuk pada lokasi yang tinggi.

Dalam perkembangannya, telur, larva, dan pupa hidup di air, sedangkan dewasa hidup di udara (Hoedjo, 2003). Nyamuk berkembang biak dengan baik di tempat perkembangbiakannya, baik di dalam ruangan atau di luar ruangan. Di dalam ruangan seperti rumah, biasanya terdapat pada tangki air rumah tangga sedangkan di luar pada tanaman penampung air atau benda yang dapat berfungsi sebagai penampung air. Makin banyak tempat perindukan maka jumlah nyamuk akan makin banyak. Oleh sebab itu, tempat-tempat

yang memiliki potensi sebagai tempat perkembangbiakan atau tempat yang disukai oleh nyamuk perlu disingkirkan (Badrah & Hidayah, 2011).

4. Pengaruh Perubahan Iklim terhadap Keberadaan Nyamuk

Perubahan iklim menjadi perdebatan yang sangat hangat karena dampaknya yang signifikan terhadap berbagai bidang kehidupan, khususnya kesehatan. Dampak negatif atau risiko perubahan iklim terhadap kesehatan telah diidentifikasi sebagai tantangan global yang dapat mengancam kehidupan manusia. Perubahan iklim makro dan mikro dapat memengaruhi penyebaran penyakit menular, termasuk vektor nyamuk. Dampak perubahan iklim adalah perubahan curah hujan, kelembapan dan suhu. Peningkatan kelembapan dan curah hujan berbanding lurus dengan peningkatan kepadatan nyamuk, sedangkan suhu optimal untuk reproduksi nyamuk berada pada suhu 25–27°C (Epstein et al., 1998).

Faktor iklim memengaruhi risiko tertular penyakit yang ditularkan melalui vektor, seperti demam berdarah, chikungunya, malaria, leptospirosis, filariasis. Makin tinggi curah hujan maka makin luas pula penyebaran nyamuk yang menyebabkan peningkatan penyakit DBD. Kelembapan dan hujan merupakan faktor yang memengaruhi kehidupan nyamuk, namun curah hujan yang sedang juga meningkatkan lokasi perkembangbiakan dalam jangka waktu yang panjang, hal ini menyebabkan peningkatan populasi vektor (Raksanagara et al., 2015). Suhu erat kaitannya dengan siklus perkembangan nyamuk dan berpengaruh langsung terhadap perkembangan parasit di dalam tubuh vektor. Rata-rata suhu optimum untuk perkembangbiakan vektor adalah 25–27°C yang memerlukan waktu rata-rata 12 hari, pada suhu yang lebih tinggi dari suhu optimum (32–35°C), siklus hidup *Aedes* lebih pendek yaitu rata-rata 7 hari (Raksanagara et al., 2015). Sedangkan pada suhu ekstrim yaitu di bawah 10°C atau di atas 40°C nyamuk mati karena perkembangan nyamuk terhenti (Sari & Rahmi, 2017).

Selain itu, penggundulan hutan, operasional pabrik, konversi lahan untuk pertambangan dan perkebunan sangat berkontribusi dalam dalam memperparah pemanasan global. Perubahan lingkungan tersebut akan mengganggu habitat normal nyamuk, hal ini berpotensi terhadap peningkatan vektor penyakit oleh nyamuk. Terdapat beberapa jenis nyamuk yang dapat bertahan menghadapi perubahan iklim dan cuaca. Dengan daya tahan yang baik maka keberadaan nyamuk tersebut dapat menjadi ancaman tersendiri bagi wilayah yang pernah menjadi endemis DBD. Pemanfaatan lahan yang tidak terkendali juga dapat mempercepat perubahan dominasi vektor pembawa penyakit tular (Anwar et al., 2014).

Dampak tidak langsung perubahan iklim terhadap kesehatan manusia adalah melalui penyakit seperti malaria dan demam berdarah, yang disebarkan oleh serangga seperti nyamuk. Menurut data Kementerian Kesehatan (2022), perubahan lingkungan yang disebabkan oleh manusia merupakan salah satu penyebab terjadinya kejadian luar biasa (KLB) penyakit menular. Perubahan lingkungan juga bisa disebabkan oleh pemanasan global. Pemanasan global dikaitkan dengan peningkatan suhu, di mana pada tahun 2012 ditemukan 56 kali lebih hangat dibandingkan antara tahun 1951 dan 1980, dan tahun 2012 diperkirakan merupakan suhu terpanas dalam 10 tahun terakhir sejak tahun 1998. Perubahan iklim dapat memengaruhi perkembangan vektor penyakit melalui beberapa cara, yaitu faktor cuaca yang memengaruhi metabolisme nyamuk, pertumbuhan, perkembangan, dan populasi. Hujan yang berlangsung relatif lama juga memengaruhi lingkungan perkembangbiakan nyamuk. Curah hujan menjadi salah satu faktor penyebab kepadatan nyamuk, makin besar jumlah curah hujan maka berpotensi meningkatkan kepadatan nyamuk, sebaliknya saat jumlah curah hujan rendah maka kepadatan nyamuk makin menurun. Kehadiran hujan meningkatkan jumlah dan jenis genangan air yang sebelumnya hanya terdapat sedikit atau tidak ada air selama musim kemarau. Kondisi perairan ini merupakan habitat pilihan bagi perkembangan jentik nyamuk. Makin banyak

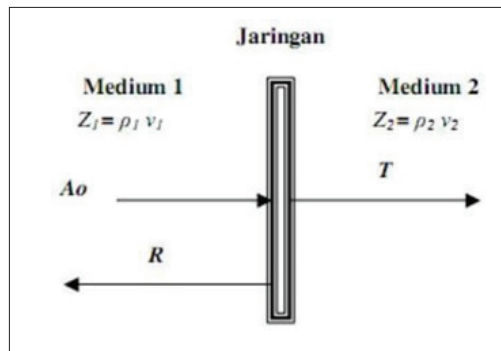
tempat bersarang maka nyamuk makin mudah bertelur sehingga kepadatan nyamuk makin tinggi. Hujan dan cuaca panas meningkatkan jumlah vektor nyamuk.

5. Gelombang Ultrasonik

Gelombang adalah getaran yang merambat dan frekuensi adalah banyaknya getaran per satuan detik. Gelombang terbagi menjadi dua, yaitu gelombang bunyi dan gelombang elektromagnetik. Gelombang mekanik (bunyi) terdiri atas gelombang bunyi dengan frekuensi 20 Hz sampai 20 KHz, gelombang ultrasonik dengan frekuensi di atas 20 KHz, dan gelombang infrasonik dengan frekuensi di bawah 20 Hz. Semua gelombang suara membutuhkan udara untuk merambat, sedangkan gelombang elektromagnetik terdiri dari gelombang radio, gelombang mikro, radiasi inframerah, cahaya tampak, sinar ultraviolet, sinar X, dan sinar gamma yang tidak memerlukan udara untuk merambat. Sifat gelombang ultrasonik yang melewati medium mengakibatkan getaran partikel dengan amplitudo medium sejajar dengan arah geraknya, dengan partikel medium tersebut membentuk massa jenis (*Strain*) dan tegangan (*Stress*). Proses berkelanjutan yang menciptakan kepadatan dan ketegangan di lingkungan disebabkan oleh osilasi periodik partikel selama lewatnya gelombang ultrasonik (Resnick & Halliday, 1992).

Gelombang ultrasonik frekuensi tinggi mempunyai kemampuan penetrasi jaringan yang sangat kuat sehingga sering digunakan untuk diagnosis, penghancuran, dan pengobatan (Cameron & Skofrock, 1978). Gelombang ultrasonik merupakan gelombang bunyi dengan frekuensi di atas 20 kHz. Gelombang ini memerlukan media udara untuk merambat sehingga suhu udara, kelembapan, hambatan fisik (seperti kaca jendela dan pintu), serta hambatan nonfisik (seperti suara lainnya) dapat memengaruhi pergerakan gelombang ini. Gelombang ultrasonik dapat merambat dalam keadaan padat, cair, dan gas. Hal ini karena gelombang tersebut merupakan perambatan energi mekanik dan momentum sedemikian rupa sehingga menyebar melalui interaksi dengan sifat energik molekul dan lingkungan yang dilalui gelombang tersebut (Bueche, 1986). Makin banyak interferensi yang diperoleh

maka makin sedikit gelombang ultrasonik yang diterima oleh objek yang diinginkan. Gelombang ultrasonik yang merambat di lingkungan menyebabkan perpindahan energi ke partikel lingkungan (Giancoli, 1998). Sifat gelombang ultrasonik dipantulkan, ditransmisikan, dan diserap oleh lingkungan atau jaringan. Ketika gelombang ultrasonik mengenai permukaan jaringan, sebagian gelombang ultrasonik ini dipantulkan dan sebagian lagi dipancarkan (ditransmisikan), seperti terlihat pada Gambar 5.5.



Keterangan:

A_o = amplitudo gelombang ultrasonik mula-mula (cm)

R = amplitudo gelombang ultrasonik yang dipantulkan (cm)

T = amplitudo gelombang ultrasonik yang ditransmisikan (cm)

Sumber: Cameron & Skofronick (1978)

Gambar 5.5 Gelombang ultrasonik datang secara normal pada bidang batas medium 1 dan medium 2.

Ketika intensitas gelombang ultrasonik mengenai permukaan jaringan, energi panas ditransfer sehingga menimbulkan efek termal pada jaringan. Intensitas rambat gelombang ultrasonik membawa energi ke permukaan per satuan waktu. Ketika energi gelombang ultrasonik melewati jaringan, ia melepaskan energi panas sehingga menyebabkan pemanasan, yang menyebabkan peningkatan suhu jaringan sehingga menyebabkan fenomena kavitasi (Giancoli, 1998). Hewan menggunakan suara atau gelombang suara untuk menerima informasi dan menemukan lokasi suatu objek, misalnya ikan lumba-

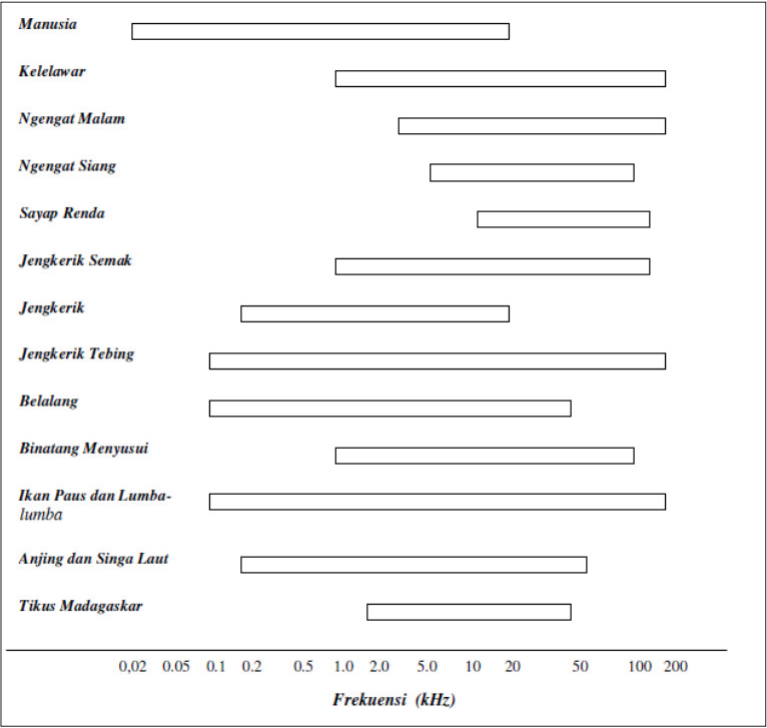
lumba, kelelawar, menggunakan gelombang bunyi untuk mengemudi dan menentukan lokasi makanan, ketika cahaya tidak cukup untuk pengamatan. Gelombang secara alami juga digunakan sebagai alat komunikasi antar spesies (Ackerman et al., 1988). Namun secara fisik, getaran suara harus berada pada rentang frekuensi terdengar. Pada frekuensi yang terlalu rendah, getaran dapat dirasakan oleh instrumen yang peka sehingga memerlukan persepsi amplitudo yang jauh lebih besar daripada kebutuhan pendengaran. Getaran frekuensi tinggi bisa tidak terasa karena energinya yang tinggi berpotensi menimbulkan rasa panas dan nyeri setempat (Sabbagha, 1980). Banyak hewan lain, seperti serangga, yang peka terhadap energi getaran di daerah frekuensi yang relatif tinggi, salah satunya adalah jangkrik. Namun, reseptor dan mekanisme yang berbeda dapat menimbulkan respons yang berbeda.

6. Gelombang Ultrasonik pada Jangkrik

Jangkrik merupakan serangga yang menggunakan bunyi (gelombang bunyi) sebagai alat komunikasi antar sesama jangkrik. Gelombang suara jangkrik mempunyai rentang frekuensi suara di atas frekuensi suara pendengaran manusia. Gelombang ini termasuk gelombang ultrasonik. Intensitas getaran pada gelombang ultrasonik akan berkurang bila suhu atau kelembapan di tempat tujuan cukup tinggi. Jangkauan transmisi sinyal gelombang ultrasonik dipengaruhi oleh suhu, kelembapan, dan frekuensi sinyal itu sendiri. Jika suhu dan kelembapan konstan, ketika frekuensi makin tinggi sinyalnya, maka akan makin besar daya serapnya di udara. Suhu dan kelembapan menentukan tinggi rendahnya frekuensi, mengingat gelombang ultrasonik merupakan gelombang suara yang memerlukan udara sebagai media rambatnya (Wilson, 1972).

Jangkrik memiliki pita suara berupa pelat melengkung yang bergetar setelah diubah bentuk oleh otot-otot diafragma dan kembali ke bentuk semula sehingga pita suara menggandakan frekuensi kontraksi otot dan menghasilkan suara. Serangga membutuhkan telinga untuk menerima sinyal suara. Telinga serangga terdiri dari dua bagian, yaitu reseptor rambut yang melekat secara fleksibel dan dapat bergerak pada

setiap getaran suara, terutama untuk mengukur pergerakan, dan organ yang bergetar menggunakan membran untuk mencatat tekanan dan gradien tekanan. Ketika suara diterima dan kemudian diterjemahkan, serangga dapat menghasilkan berbagai respons untuk melindungi kelompoknya, termasuk ketertarikan seksual, pertahanan wilayah, sinyal bahaya, dan perubahan jalur terbang (Ackerman et al., 1988). Dari segi frekuensi, dibandingkan hewan, manusia memiliki rentang sensitivitas akustik yang lebih pendek dan batas frekuensi atas yang lebih rendah, yaitu 20 kHz. Transmisi suara pada frekuensi di atas 20 kHz ditunjukkan dengan ultrasonik (Purwanto & Fajar, 1986). Berikut adalah macam-macam frekuensi pendengaran bermacam-macam binatang (Gambar 5.6).



Sumber: Sales & Pye (1974)

Gambar 5.6 Ketergantungan Frekuensi Pendengaran Bermacam-macam Binatang

Gambar 5.6 menunjukkan bahwa serangga khususnya jangkrik memiliki sensitivitas akustik pada rentang ultrasonik. Penggunaan sinyal serangga tersebut sebenarnya hanya dapat direkam oleh suatu rangkaian elektronik yang menggunakan sistem perangkat elektronik (Purwanto & Fajar, 1986). Gelombang ultrasonik jangkrik pada frekuensi 34 kHz memiliki pengaruh terhadap keberadaan nyamuk di mana waktu pemaparan gelombang ultrasonik membuat nyamuk berpindah posisi menjauhi sumber gelombang (Sakti, 2018).

7. Potensi Nyamuk Betina sebagai Vektor

Nyamuk dapat mendeteksi 3 hal penting sebagai kondisi yang disukainya, yaitu panas, warna (kegelapan), dan bau (betina: darah dan asam; jantan: nektar dan nutrisi) yang tinggi di pagi hari sehingga di beberapa tempat berpotensi terdapat nyamuk (Statman-Weil, 2001; Tauxe et al., 2013). Umur nyamuk menjadi lebih pendek apabila kelembapan udara menjadi rendah karena tubuh nyamuk akan mengalami penguapan yang tinggi pada kelembapan yang rendah (Ridha et al., 2018). Untuk menjaga keseimbangan air dalam tubuhnya, nyamuk perlu mendapatkan cairan dari makanan, hal ini menyebabkan nyamuk makan berulang kali. Selain itu, nyamuk juga lebih menyukai suasana hangat di mana suhu tubuh akan memengaruhi jumlah nyamuk yang hinggap. Peningkatan suhu udara dapat menjadi faktor peningkatan laju pertumbuhan nyamuk. Sebaliknya, suhu yang dingin dapat menghambat laju pertumbuhan nyamuk. Nyamuk dapat berkembangbiak pada suhu optimal yaitu 26°C, sedangkan kelembapan udara yang baik untuk perkembangan nyamuk berkisar antara 81,5–89,5% (Anggraini & Cahyati, 2017). Suhu pada malam hari yang cenderung lebih rendah mengakibatkan berkurangnya intensitas pergerakan nyamuk (Khansa & Dzulkiflih, 2022).

Setiap spesies memiliki rentang komunikasi (frekuensi) yang berbeda beda. Rentang frekuensi tersebut bisa menandakan migrasi, tanda bahaya, dan sebagainya. Sebagai contoh nyamuk adalah hewan

yang memiliki rentang gelombang audiosonik yaitu gelombang bunyi yang frekuensinya antara 20 Hz–20 KHz. Penelitian tentang nyamuk lebih difokuskan pada nyamuk betina karena yang menghisap darah manusia hanyalah nyamuk betina. Nyamuk betina menghisap darah karena untuk kebutuhan pertumbuhan dan perkembangan telurnya, sedangkan jantan memakan nektar tanaman sepanjang hidupnya. Nyamuk sesungguhnya adalah serangga polinator seperti *Aedes communis* yang membantu penyerbukan anggrek *Plantanthera obtusata*. Nyamuk betina menjadi penghisap darah ketika setelah kawin dan sebelum kawin, betina juga memakan nektar sama seperti nyamuk jantan (Barredo & DeGennaro, 2020).

Nyamuk betina *Anopheles subpictus* memiliki frekuensi 330–385 Hz (Tischner & Schief, 1953); *Anopheles maculipennis* 165–247 Hz; *Culiseta alaskaensis* 175–233 Hz; *Culiseta morsitans* 196–220 Hz; *Culex pipiens* 165–196 Hz (Sotavalta, 1952); *Aedes aegypti* 355–415 Hz (Tischner & Schief, 1955); *Aedes cantans* 277–311 Hz; *Aedes punctor* 247–311 Hz (Sotavalta, 1952); *Aedes compestris* 331–332 Hz (Hocking, 1953); *Aedes communis* 213–230 Hz; *Aedes impiger* 305–380 Hz (Hocking, 1953). Frekuensi yang dihasilkan oleh nyamuk tersebut dapat memicu suatu sumber tegangan yang kemudian dapat memancarkan gelombang ultrasonik. Seperti yang telah dilakukan oleh Hartiyoko (2012) yaitu dengan merancang suatu alat pendeteksi dan pengusir nyamuk berbasis frekuensi. Apabila ada frekuensi nyamuk yang dideteksi, maka rangkaian yang dibuat akan mengaktifkan rangkaian transmitter dengan menghubungkan ke sumber tegangan. Sinyal yang diterima berupa suara yang ditangkap sebagai sensor ultrasonik yang kemudian diubah menjadi tegangan. Ketika sinyal yang dipancarkan kuat, maka akan memancarkan gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik ini yang kemudian akan memberikan dampak pada respon nyamuk yakni pada kisaran frekuensi 20 kHz sampai 40 kHz. Berdasarkan hal tersebut, perlu dikembangkan suatu teknik pengendalian hama berbasis nyamuk dengan pemanfaatan gelombang ultrasonik yang lebih efektif dan efisien, salah satunya adalah biokontrol hama nyamuk dengan menggunakan Jangkrik (*Acheta domesticus*).

8. Potensi Pemanfaatan Gelombang Ultrasonik Jangkrik sebagai Biokontrol Hama Nyamuk

Gelombang ultrasonik dapat memberikan dampak terhadap pengendalian nyamuk. Hal ini dibuktikan dengan penelitian yang telah dilakukan mulai dari yang sederhana hingga menggunakan rentang frekuensi (Mahoney, 2024). Jangkrik yang memiliki frekuensi antara 0,2 kHz dan 50 kHz berpotensi mengendalikan nyamuk. Pengaruh gelombang ultrasonik terhadap nyamuk adalah diduga terdapat respon antenna nyamuk yang menunjukkan adanya tekanan pada sistem saraf hingga cedera fisik dan kelelahan sehingga memungkinkan meningkatkan persentase jatuh dan kematian nyamuk (Tito, 2017). Hal ini sesuai dengan Penelitian Singh et al. (2016), bahwa rentang frekuensi 38–44 kHz dapat memengaruhi sensilla yang ada pada antenna nyamuk yang akan menimbulkan tekanan pada sistem saraf sehingga digunakan secara efektif sebagai pengendali hama nyamuk dan lalat. Selain itu, dalam penelitian Shahir (2010) juga menyatakan bahwa paparan gelombang ultrasonik terhadap lalat rumah dapat secara langsung menembus otak dan sistem syaraf yang menyebabkan rasa sakit, ketidaknyamanan, dan menimbulkan kegelisahan sehingga dapat bertindak juga tidak normal seperti panik, hingga berkelahi satu sama lain. Keberhasilan juga ditunjukkan di serangga lain dalam Penelitian Khan-Ahmadi et al. (2023), bahwa efek mematikan dan penolak kecoa Jerman, *Blattella germanica* (Blattodea: Blattellidae) pada rentang frekuensi gelombang ultrasonik (20–100) kHz.

Jangkrik merupakan serangga yang menghasilkan gelombang ultrasonik di mana gelombang bunyi yang mereka keluarkan digunakan untuk berkomunikasi dengan sesama jangkrik. Gelombang bunyi pada jangkrik mempunyai rentang frekuensi suara di atas frekuensi suara yang memengaruhi telinga manusia sebab frekuensinya di luar jangkauan pendengaran normal manusia. Jangkrik jantan yang ingin kawin akan mengeluarkan gelombang bunyi dengan frekuensi tinggi. Gelombang inilah yang kemudian memberikan dampak terhadap

nyamuk. Dampak gelombang ultrasonik jangkrik terhadap nyamuk dapat dibuktikan dengan pemasangan jangkrik yang telah dilakukan di lingkungan kampus Institut Pertanian Malang sehingga diperoleh data pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Jumlah Gigitan Sebelum dan Sesudah Pemasangan Jangkrik di Lingkungan Kampus Institut Pertanian Malang (IPM)

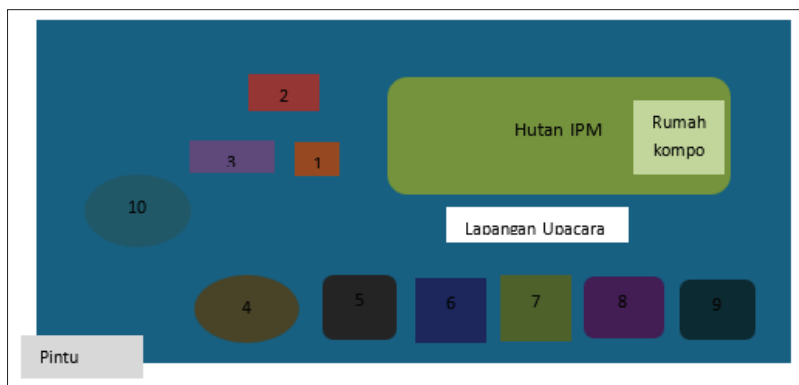
Lokasi	Jumlah Gigitan			
	Pagi		Sore	
	Sebelum	Setelah	Sebelum	Setelah
Gazebo	4	0	3	0
Rumah dari jamur	5	1	5	2
Laboratorium	2	1	3	0
Ruang Karyawan	3	1	2	0
Ruang Dosen	3	0	2	0
Ruang Rektor	4	2	3	1
Kelas	4	0	2	0
Mapalipma (Mahasiswa Pecinta Alam)	3	0	1	0
BEM (Badan Eksekutif Mahasiswa)	4	0	1	0
Area parkir	5	0	3	0

Sumber: Tito (2017)

Data pada tabel 5.1 menunjukkan efektivitas penggunaan jangkrik pada pagi hari mencapai 60% dan sore hari mencapai 80% sehingga pemanfaatan jangkrik sebagai pengendali nyamuk terbukti cukup efektif (Tito, 2017). Pada kondisi alami, jangkrik aktif di malam hari (*nocturnal*). Pada penelitian ini, dilakukan kondisi buatan yang merangsang jangkrik jantan berbunyi, yaitu menyiapkan lawan jenis (jangkrik betina) di kandang yang berbeda. Hal ini sesuai dengan Fuah et al. (2016) yang menyatakan bahwa bunyi yang dihasilkan

jangkrik jantan tidak hanya digunakan untuk berkumpul, agresivitas, dan tujuan sosial yang lain, tetapi juga untuk menarik lawan jenis. Jangkrik kemudian menghasilkan signal sebagai tanda kesiapan untuk kawin.

Angka kejadian gigitan nyamuk juga dipengaruhi oleh suhu dan kelembapan udara berbeda sehingga jumlah kejadian gigitan nyamuk pada pagi, siang, dan sore hari juga berbeda. Pengaruh luar ruangan seperti suhu dan kelembapan dianggap konstan, artinya suhu awal dan akhir sama dengan skala lapangan sehingga faktor yang paling menentukan adalah gelombang ultrasonik itu sendiri. Adapun pengambilan sampel acak berdasar area atau wilayah (*Cluster*



Keterangan :

- 1) Gazebo (peletakan jangkrik)
- 2) Rumah Jamur
- 3) Laboratorium
- 4) Ruang Karyawan
- 5) Ruang Dosen
- 6) Ruang Rektor
- 7) Kelas
- 8) Mapalipma
- 9) Bem
- 10) Area Parkir

Gambar 5.7 Gambar Peta Titik Sampel Penelitian

Random Sampling) dengan variasi wilayah dan sampel 5 orang pada tiap wilayah sehingga total membutuhkan 100 responden.

Pada Gambar 5.7 dapat diketahui tempat pengambilan sampel di kampus Institut Pertanian Malang (IPM). Terdapat 10 tempat yang menjadi lokasi pengambilan sampel di wilayah kampus Institut Pertanian Malang. Pada 10 titik lokasi tersebut merupakan tempat yang banyak dilalui oleh banyak orang yang beraktivitas sehingga dapat diambil sebagai responden yang mengalami gigitan. Pada tiap titik atau wilayah, terdapat 5 orang responden dan didapatkan hasil rata-rata gigitan nyamuk pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Jumlah Rata-Rata Gigitan Nyamuk

Lokasi	Pagi-Sebelum	Pagi-Sesudah	Sore-Sebelum	Sore-Sesudah
Gazebo	0.8 ± 0.45	0 ± 0	0.6 ± 0.55	0 ± 0
Rumah jamur	1 ± 0	0.2 ± 0.45	1 ± 0	0.4 ± 0.55
Laboratorium	0.4 ± 0.55	0.2 ± 0.45	0.6 ± 0.55	0 ± 0
Ruang Karyawan	0.6 ± 0.55	0.2 ± 0.45	0.4 ± 0.55	0 ± 0
Ruang Dosen	0.6 ± 0.55	0 ± 0	0.4 ± 0.55	0 ± 0
Ruang Rektor	0.8 ± 0.45	0.4 ± 0.55	0.6 ± 0.55	0.2 ± 0.45
Kelas	0.8 ± 0.45	0 ± 0	0.4 ± 0.55	0 ± 0
Mapalipma (Mahasiswa Pecinta Alam)	0.6 ± 0.55	0 ± 0	0.2 ± 0.45	0 ± 0
BEM (Badan Eksekutif Mahasiswa)	0.8 ± 0.45	0 ± 0	0.2 ± 0.45	0 ± 0
Area parkir	1 ± 0	0 ± 0	0.6 ± 0.55	0 ± 0

Keterangan: Rata-rata jumlah gigitan sebelum dan sesudah pemasangan jangkrik di setiap lokasi sampel di lingkungan kampus Institut Pertanian Malang (IPM) ketika pagi dan sore hari.

Sumber: Tito (2017)

Tabel 5.2 di atas menunjukkan rata-rata jumlah gigitan nyamuk sebelum dan sesudah pemasangan jangkrik pada tiap lokasi yang dijadikan sampel. Terlihat bahwa terjadi perubahan angka gigitan nyamuk pada pagi dan sore hari setelah dilakukan pemasangan jangkrik. Adapun rata-rata gigitan nyamuk pada pagi dan sore hari dengan sebelum dan sesudah pemasangan jangkrik menunjukkan adanya perbedaan jumlah gigitan melalui uji dua populasi yang dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Uji Mean Dua Populasi

	MB	MA		
Mean	3,7	0,5	MB	Morning-Before
SD	0,948683	0,707107	MA	Morning-After
	EB	EA		
Mean	2,5	0,3	EB	Evening-Before
SD	1,178511	0,674949	EA	Evening-After

Keterangan: Rata-rata jumlah gigitan sebelum dan sesudah pemasangan jangkrik di lingkungan kampus Institut Pertanian Malang (IPM) ketika pagi dan sore hari

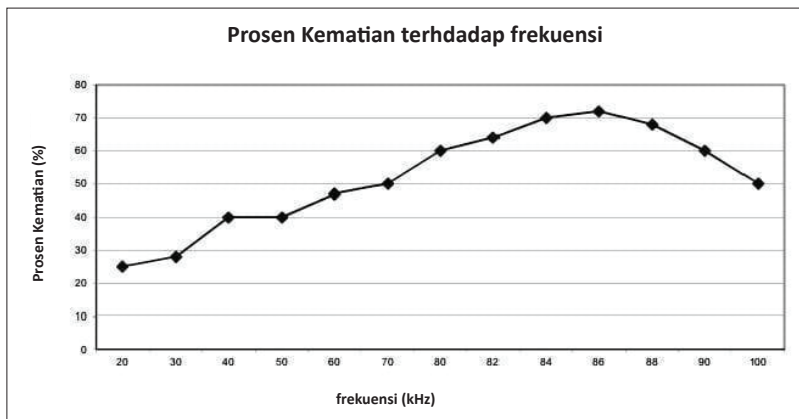
Sumber: Tito (2017)

Hasil menunjukkan adanya perbedaan gigitan setelah pengaplikasian. Pengaruh gigitan pada pagi hari menunjukkan perbedaan antara sebelum dan sesudah melakukan pemasangan jangkrik. Setelah dilakukan perhitungan dan analisis data, didapatkan nilai $p\text{-value} < 0.05$ yang berarti hasilnya berbeda nyata antara sebelum dan sesudah pemasangan. Adapun di beberapa tempat, seperti rumah jamur, laboratorium, ruang pegawai, dan ruang rektor, diperkirakan masih mempunyai angka kejadian gigitan nyamuk karena gradien suhu dan kelembapan udara di tempat tersebut. Seperti pada gazebo dan parkir yang lokasinya berada di luar sehingga pengaruh suhu dan kelembapannya konstan, di mana suhu awal dan akhir sama.

Wilson (1972) menyatakan bahwa intensitas getaran pada gelombang ultrasonik akan berkurang bila suhu atau kelembapan udara di tempat tersebut cukup tinggi. Jangkauan transmisi sinyal gelombang ultrasonik tergantung pada suhu, kelembapan, dan frekuensi sinyal itu sendiri. Apabila suhu dan kelembapan konstan maka makin tinggi frekuensi sinyalnya dan makin besar daya serapnya di udara. Suhu dan kelembapan memengaruhi tinggi rendahnya frekuensi yang dihasilkan oleh jangkrik karena gelombang ultrasonik merupakan gelombang suara yang memerlukan udara sebagai media rambatnya. Kelembapan yang tinggi juga dapat mempercepat penguapan di tubuh nyamuk sehingga air dalam tubuh nyamuk cepat berkurang. Nyamuk betina menjaga keseimbangan air dalam tubuhnya dengan mengisi ulang cairan dalam tubuhnya dengan cara makan, yaitu menghisap darah manusia. Tidak hanya itu, nyamuk juga menyukai suasana hangat sehingga suhu tubuh juga akan memengaruhi jumlah nyamuk yang hinggap dan menggigit pada tubuh manusia (Ellwanger et al., 2021).

Di samping hal tersebut, telah dilakukan pula penelitian terhadap dosis optimal paparan gelombang ultrasonik untuk membunuh jentik nyamuk menggunakan transduser ultrasonik, yaitu pembangkit yang mengubah energi listrik menjadi energi akustik. Untuk menentukan frekuensi optimal paparan gelombang ultrasonik, maka dilakukan variasi frekuensi antara 20–100 kHz (Mansyur et al., 2009) (Gambar 5.8).

Berdasarkan hasil data tersebut, frekuensi optimal yang menunjukkan kematian nyamuk tertinggi adalah 86 kHz dengan angka kematian sebesar 72%. Kondisi tersebut dicapai dengan paparan gelombang ultrasonik dengan daya 50 W, volume 50 ml, dan waktu pemaparan 1 jam. gelombang yang ditimbulkan oleh jangkrik. Makin dekat dengan sumber gelombang ultrasonik, makin besar intensitas dan energi gelombang ultrasonik tersebut. Berdasarkan teori, gelombang ultrasonik yang dipancarkan jangkrik menyebar ke segala arah (Heagen, 1978). Gelombang ultrasonik yang merambat ke luar memiliki energi yang didistribusikan ke seluruh permukaan. Perambatan energi ini meluas dan menyebar seiring dengan perambatannya



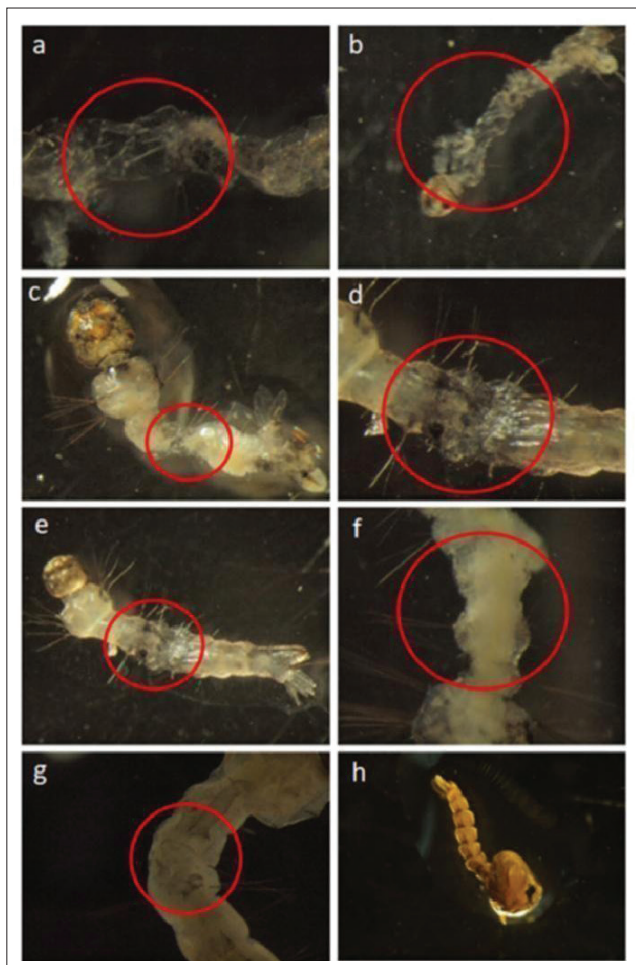
Sumber: Mansyur et al. (2009)

Gambar 5.8 Grafik Hubungan Persen Kematian terhadap Frekuensi Gelombang Ultrasonik

secara tiga dimensi sehingga luas rambat gelombang ultrasonik adalah luas bola, yaitu $4\pi r^2$ ("r" adalah jari-jari bola). Jika daya gelombang ultrasonik (P) konstan, intensitasnya berkurang berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari sumber. Hal ini sesuai dengan rumus $I = P/4\pi r^2$. Misalnya kita mengambil dua titik pada jarak r_1 dan r_2 dari sumber pembangkit frekuensi gelombang, maka $I_1 = P/4\pi r_1^2$ dan $I_2 = P/4\pi r_2^2$ sehingga jarak digandakan misalnya ($= 2$) maka intensitasnya berubah sebesar $\frac{1}{4}$ dari nilai awal ($= (2)^{-2} = \frac{1}{4}$) (Tito, 2011). Hal ini juga terjadi ketika amplitudo gelombang ultrasonik berkurang seiring dengan bertambahnya jarak, amplitudo gelombang ultrasonik berkurang sebesar $1/r$, karena intensitas sebanding dengan amplitudo, sebanding dengan kebalikan dari kuadrat jarak, hal ini sesuai dengan persamaan $A = I/r$. Jika jarak gelombang ultrasonik dua kali lebih jauh dari sumbernya, amplitudonya menjadi setengahnya (Giancoli, 1998). Oleh karena itu, makin dekat sumber gelombang ultrasonik dengan sasarannya, yaitu nyamuk maka makin tinggi intensitas dan energi gelombang ultrasonik jangkrik yang diterima nyamuk.

Alat-alat yang menghasilkan gelombang ultrasonik juga telah banyak dirancang dan dibuat, seperti perangkat berbasis ultrasonik yang telah diuji dalam sejumlah upaya pengendalian hama yang terus dikembangkan. Alat Larvasonik Akustik yang berguna sebagai pengendali instar nyamuk. Hasil dari penggunaan alat ini adalah instar larva lebih sensitif terhadap rentang frekuensi 18–30 kHz (Kalimuthu et al., 2020). Gelombang ultrasonik yang diterapkan selama 180 detik pada frekuensi 18 kHz hingga 30 kHz menyebabkan 100% kematian larva pada jarak 60 cm dari transduser. Hal ini juga diperkuat dalam penelitian Ozkurt (2021) bahwa gelombang ultrasonik dengan frekuensi 28.80 kHz dapat membunuh larva nyamuk *Culex pipiens* di semua instar (1–4) antara 70 hingga 100%, sedangkan kematian tertinggi sebesar 96.67% hingga 100% dimiliki oleh larva instar 1, yaitu larva dengan ukuran paling kecil. Lebih lanjut, gelombang ultrasonik pada rentang frekuensi 20–70 kHz efektif dalam mengusir imago nyamuk (Foster & Lutes, 1985).

Dari sudut pandang mekanistik pada tingkat sel, gelombang ultrasonik dapat menyebabkan penggumpalan membran, penyusutan sel, dan fragmentasi apoptosis tubuh sehingga membuat lubang pada jaringan. Jentik nyamuk terbunuh jika lubang pada jaringannya terlalu besar atau ketika jaringan tidak dapat menutup kembali dengan cepat. Gelombang suara yang diuji beresonansi pada frekuensi volume udara internal jentik nyamuk menyebabkan tubuh jentik dapat meledak. Hasilnya, 98% larva dan pupa mati, sedangkan 2% sisanya hidup dengan deformasi morfologi yang membuat mereka kemudian mati dalam kurun waktu yang singkat. Getaran akibat gelombang suara menyebabkan terbentuknya vesikel gas yang kemudian beresonansi di dalam dan di antara sel yang menyebabkan pecahnya gelembung sehingga berdampak pada kerusakan sel (Rajasekhar et al., 2012). Dokumentasi pengaruh gelombang ultrasonik kepada larva dan pupa nyamuk *M. formosanus* telah dilakukan. Lingkaran merah menampakkan implikasi gelombang ultrasonik dapat merusak batang trakea larva nyamuk pada spesies ini (Gambar 5.9).



Sumber: Kalimuthu et al. (2020)

Gambar 5.9 Kepekaan Larva dan Pupa Nyamuk

Kematian larva nyamuk yang disebabkan oleh alat Larvasonik kemungkinan besar disebabkan oleh gelombang ultrasonik yang ditransmisikan ke dalam air dengan frekuensi tinggi, menyebabkan pecahnya batang trakea dorsal pada instar sehingga mengakibatkan kerusakan jaringan dan kematian (Kalimuthu et al., 2020). Alat serupa yaitu Perseus, adalah perangkat penghasil suara ultrasonik yang dikembangkan sebagai alat fisik untuk mengendalikan nyamuk sebelum tahap dewasa. Pada percobaan dengan menggunakan alat tersebut menghasilkan bahwa alat ini dapat membunuh larva dan pupa secara tuntas dengan tingkat kematian rata-rata 100%. Hal ini terjadi karena larva nyamuk mempunyai organ dalam berupa kantung udara kecil yang apabila terpapar oleh pancaran gelombang ultrasonik yang dihasilkan dari alat tersebut membuat trauma pada jaringan sehingga menyebabkan udara bermigrasi dari dada nyamuk menuju perut yang kemudian menyebabkan kematian pada larva nyamuk (Tawatsin et al., 2019).

Salah satu alat pengendali nyamuk yang memanfaatkan gelombang ultrasonik dan sudah dipatenkan adalah alat Transduser Akustik. Prinsip kerja alat ini adalah dengan memberi energi pada transduser akustik sehingga menimbulkan frekuensi resonansi, di mana frekuensi resonansi tersebut beresonansi dengan kantung udara jentik nyamuk yang menimbulkan trauma pada jaringan di sekitarnya sehingga mengakibatkan kematian pada jentik nyamuk (Neyberg et al., 2001). Semua alat-alat yang telah dirancang memiliki prinsip yang sama, yaitu dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik sebagai penyebab kematian pada larva nyamuk. Apabila alat-alat tersebut terus dikembangkan dan dikenalkan pada masyarakat luas tentunya akan memberikan dampak yang positif bagi pengendalian vektor nyamuk. Sayangnya alat tersebut saat ini masih jarang ada pada masyarakat sekitar sehingga pemanfaatan gelombang ultrasonik jangkrik sebagai upaya pengendali vektor nyamuk dapat menjadi alternatif yang tepat untuk terus dikembangkan. Jangkrik sebagai penghasil gelombang ultrasonik secara alami dapat membantu pengendalian nyamuk sebagai vektor penyakit.

Beberapa contoh tersebut memperkuat bahwa jangkrik sebagai penghasil gelombang ultrasonik alami dengan rentang frekuensi antara 0,2 kHz dan 50 kHz berpotensi dalam mengendalikan hama nyamuk. Tidak hanya nyamuk, tetapi gelombang ultrasonik yang dihasilkan oleh jangkrik juga berpotensi membunuh jentik nyamuk sebagai cikal bakal nyamuk pembawa vektor penyakit. Hal ini dapat terjadi karena efek-efek yang ditimbulkan oleh gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik yang dipancarkan dapat memusnahkan larva dan pupa karena rusaknya jaringan pada larva dan pupa akibat paparan gelombang ultrasonik (Tawatsin et al., 2019).

Hasil penelitian tentang mekanisme lama paparan gelombang ultrasonik terhadap jaringan hidup telah dibuktikan beberapa percobaan, perlakuan ultrasonik yang diberikan pada *Escherichia coli* dan *Azotobacter venelandi* dengan gelombang suara di dalam sebuah *Raytheon Magnetostrictive Oscillator* 10 kHz dalam waktu 10 menit dengan suhu 4°C dengan pH 6,6 dan melaporkan adanya kerusakan sel pada bakteri tersebut (Sutiono, 1982). Umumnya gelombang ultrasonik untuk tujuan sterilisasi adalah membunuh bakteri yang tidak diinginkan, digunakan frekuensi 20 kHz sampai 1 MHz dengan lama paparan 30 menit (Oesman, 1988). Kecepatan gelombang ultrasonik di udara rata-rata sekitar 1.540 m/s, sedangkan di air rata-rata sebesar 1.480 m/s (Ackerman et al., 1988) dan efek mekanik ini terjadi pada semua tingkatan intensitas. Hal ini disebut konsep fisikomorfoseluler, yaitu suatu konsep yang mendasar pada pengaruh fisika yang merupakan pengaruh luar yang dapat menyebabkan perubahan struktur jaringan sel pada tingkat seluler terutama pada inti sel yang diakibatkan oleh salah satu atau kombinasi efek termal dan efek kavitasi (Sabbagha, 1980). Ultrasonik merupakan salah satu alternatif dalam pasteurisasi di mana terjadi pembentukan gelembung kavitasi yang dianggap berasal dari proses termal, efek termal inilah yang kemudian memberikan efek pada mikroba (Cameron, 2007).

Dalam biofisika, efek yang ditimbulkan oleh paparan ultrasonik, antara lain efek termal (panas), efek kavitasi (pembentukan gelembung

dalam sel), dan efek mekanis (tekanan). Untuk ketiga efek tersebut, kita harus memperhatikan fenomena kavitasi, di mana efek kavitasi merupakan proses penguapan cairan karena tekanannya turun di bawah tekanan penguapan. Pada instalasi aliran fluida, kavitasi dapat terjadi apabila terdapat penyempitan saluran misalnya terdapat *orifice* atau katup. Kavitasi ditandai dengan terbentuknya gelembung. Gas dalam gelembung mikro dapat mengembang ketika gelombang ultrasonik tinggi melewatinya sehingga menyebabkan dispersi gas yang tidak seimbang. Jaringan lunak spesies ini merupakan zat cair yang dapat menyebabkan kavitasi bila terkena gelombang ultrasonik intensitas tinggi. Paparan gelombang ultrasonik menimbulkan dua jenis kavitasi, yaitu kavitasi stabil dan kavitasi tidak stabil. Efek kavitasi yang stabil terjadi ketika gelembung mikrogas tumbuh hingga ukuran tertentu dan kemudian beresonansi dengan frekuensi gelombang ultrasonik. Amplitudo osilasi jauh lebih besar dibandingkan amplitudo osilasi partikel cair sebelum terjadinya gelembung mikrogas. Jaringan di sekitar gelembung mikrogas tersebut mengalami stres yang sangat besar sehingga mengakibatkan kerusakan molekul dan membran sel (Sabbagha, 1980).

Efek kavitasi yang tidak stabil merusak lebih banyak jaringan seluler. Pada tekanan rendah, gelombang ultrasonik intensitas tinggi menyebabkan terbentuknya gelembung kavitasi. Tekanan tinggi menyebabkan gelembung pecah, menghasilkan energi seperti kejutan yang merusak jaringan sel. Batas frekuensi kavitasi manusia dapat terjadi pada frekuensi di atas 40 kHz. Sementara itu, frekuensi ultrasonik yang biasa dijual di pasaran berada di bawah 40 kHz sehingga manusia tidak terpengaruh oleh efek kavitasi akibat gelombang ultrasonik yang dihasilkan. Banyak kelebihan yang diperoleh dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik yaitu tidak menimbulkan pencemaran lingkungan, tidak mengeluarkan bunyi yang dapat membisingkan telinga manusia karena frekuensinya melebihi jangkauan pendengaran normal dan tidak pula mengganggu binatang non-vektor.

C. Penutup

Gelombang ultrasonik yang dihasilkan oleh jangkrik berpotensi dimanfaatkan untuk tujuan pengendalian vektor nyamuk. Potensi ini ditunjukkan dari beberapa penelitian yang ada, di mana gelombang ultrasonik jangkrik sebagai biokontrol mampu mengurangi angka gigitan nyamuk. Jangkrik sebagai penghasil gelombang ultrasonik bergantung pada berbagai macam faktor seperti suhu, kelembapan, dan media rambatnya. Kecepatan gelombang ultrasonik di air juga jauh lebih cepat dibandingkan di udara sehingga efektifitasnya lebih tinggi terhadap target. Melalui pemanfaatan gelombang ultrasonik sebagai kontrol nyamuk, diharapkan dapat menekan penyakit vektor nyamuk di semua siklus hidupnya. Potensi ini tentu menawarkan solusi yang perlu dipertimbangkan dan dievaluasi kembali guna keberlanjutan teknik pengendalian yang lebih baik lagi. Diperlukan penelitian lanjutan serta cakupan penelitian yang lebih luas, dan desain penelitian yang lebih ketat, untuk membuktikan potensi pemanfaatan gelombang ultrasonik pada jangkrik ini. Hal tersebut diharapkan dapat memberikan alternatif metode pengendalian vektor nyamuk yang dapat membantu dalam pencegahan penyakit tular vektor.

Referensi

- Ackerman, E., Lynda B. M. Ellis, & Lawrence E. W. (1988). *Ilmu biofisika* (Redjani, & Abdulbasir, Penerj.). Airlangga University Press. 256–375.
- Alemayehu, T., Ye-eby, Y., Ghabreyesus, T. A., Witten, K. H., Bosman, A., & Teklehaimanot. (1998). Malaria, schistosomiasis, and intestinal helminthes in relation to microdams in Tigray: Northern Ethiopia. *Parasitologi*, 40, 259–267. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10376281/>
- Anggraini, T., S., & Cahyati, W., H. (2017). Perkembangan aedes aegypti pada berbagai ph air dan salinitas air. *HIGEIA (Journal of Public Health Research and Development)*, 1(3), 1–10. <https://journal.unnes.ac.id/sju/higeia/article/view/15165>
- Anwar, C., Luvita, R. A., & Handayani, D. (2014). Identifikasi dan distribusi nyamuk aedes sp. sebagai vektor penyakit demam berdarah dengue di beberapa daerah di Sumatera Selatan. *Majalah Kedokteran Sriwijaya*, 46(2), 111–117. <https://ejournal.unsri.ac.id/index.php/mks/article/view/2691>

- Badrah, S., & Hidayah, N. (2011). Hubungan antara tempat perindukan nyamuk *aedes aegypti* dengan kasus demam berdarah dengue di Kelurahan Panajam Kecamatan Panajam Kabupaten Panajam Paser Utara. *Journal of Tropical Pharmacy and Chemistry*, 1(2), 150–157. <https://doaj.org/article/c7250eba8bd64e609fe4319abfce2acc>
- Barredo, E., & DeGennaro, M. (2020). Not just from blood: Mosquito nutrient acquisition from nectar sources. *Trends in Parasitology*, 36(5), 473–484. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2020.02.003>
- Becker, N., Petrick, D., Zgomba, M., Boase, C., & Kaiser, A. (2010). *Nyamuk dan pengendaliannya*. Springer.
- Benitez, M. A. (2009). *Climate change could affect mosquito-borne diseases in Asia*. Lanset.
- Beaty, B. J., & Marquardt, W. C. (Ed.). (1996). *The biology of disease vectors*. University Press of Colorado. 51–72.
- Bueche, R. J. (1986). *Introduction to physics for scientists and engineers*. Mc Graw-Hill. 50–56.
- Cameron, J. R., & Skofronick J. G. (1978). *Medical physics*. John Wiley & Sons Inc. 253–287.
- Cameron, M. (2007). *Impact of low- frequency high- power ultrasound on spoilage and potentially pathogenic dairy microbes*. University of Stellenbosch.
- Center for Disease Control and Prevention (CDC). (2010). *Dengue and the aedes albopictus mosquito*. https://health.hawaii.gov/docd/files/2015/11/CDC_albopictus_factsheet.pdf
- Christopers, S. R. (1960). *Aedes aegypti (L), the Yellow Fever Mosquito: Its Life History. Bionomics and Structure*. Cambridge University Press.
- Clements, A. N. (1992). *The Biology of Mosquitoes*. Chapman & Hall.
- Cranston, P. S., Ramsdale, C. D., Snow, K. R., & White, G. B. (1987). *Adults, larvae and pupae of british mosquitoes (culicidae)*. Freshwater Biological Association
- Dorville, L. F. (1996). Mosquitoes as Bioindicators of Forest Degradation in Southeastern Brazil: A Statistical Evaluation of Published Data in the Literature. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 31(2), 68–78. <https://doi.org/10.1076/snfe.31.2.68.13331>
- Ellwanger, J., H., Cardoso, J., C., Chies., JA., B. (2021). Variability in human attractiveness mosquitoes. *Current Research in Parasitology & Vector-Borne Diseases*, 1. <https://doi.org/10.1016/j.crpvbd.2021.100058>

- Epstein, P. R., Diaz, H. R., Elias, S., Grabherr, G., Graham, N. E., Martens, W. J., Thompson, E. M., & Susskind, J. (1998). Biological and physical signs of climate change: Focused on mosquito-borne diseases. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(3), 409–417. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1998\)079<0409:BAPSOC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1998)079<0409:BAPSOC>2.0.CO;2)
- Foster, W. A., & Lutes, K. L. (1985). Tests of ultrasonic emissions on mosquito attraction to hosts in a flight chamber. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.44.1.51>
- Fuah, A. M., Siregar, H. C. H., Endrawati, Y. C., Astuti, D. A., Khotijah, L., Winarno, & Sunyoto, A. (2016). *Cricket farming in Indonesia: Challenge and opportunity*. Lambert Academic Publishing.
- Giancoli, D. C. (1998). *Fisika* (Yuhilsa H., Penerj.). Penerbit Erlangga. 407–444.
- Gillett, J. D. (1971). *Mosquitos*. Richard Clay Ltd.
- Gratz, G. N. (1999). Emerging and resurging vector-borne diseases. *Annual Review of Entomology*, 44, 51–57. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.44.1.51>
- Hartiyoko, W. (2012). *Rancang bangun alat pendeteksi dan pengusir nyamuk berbasis frekuensi*. Universitas Indonesia.
- Harviyanto, I. Z., & Windraswara, R. (2017). Lingkungan tempat perindukan nyamuk *Culex quinquefasciatus* di sekitar rumah penderita filariasis. *HIGEIA (Journal of Public Health Research and Development)*, 1(2), 131–140. <https://journal.unnes.ac.id/sju/higeia/article/view/14148>
- Heagen. (1978). *Text book of diagnostic ultrasonography*. Mosby Company.
- Hendrayanti, N., & Bachtiar, A. (2008). *Analisis manajemen kegiatan pemberantasan sarang nyamuk demam berdarah dengue (psn dbd) dengan metode combi (communication for behavior impact) di Pekanbaru Studi Kasus Dikelurahan Sidomulyo Timur Tahun 2008* [Skripsi]. Universitas Indonesia. <https://lontar.ui.ac.id/detail?id=124144&lokasi=lokal>
- Herawati, R. (2009). *Ekstraksi Daun Sirih (Piper Batle L.) sebagai Insektisida Nabati untuk Membasmi Larva Nyamuk Aedes Aegypti* [Skripsi]. Universitas Atmajaya Yogyakarta. <http://e-journal.uajy.ac.id/id/eprint/2147>
- Hocking, B. (1953). *The Intrinsic Range and Speed of Flight of Insect*. Trans. Royal Entomological Society.
- Hoedjo, R. (2003). *Parasitologi kedokteran*. Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia.

- Ismah, Z., Purnama, T. B., Wulandari, D. R., Sazkiah, E. R., & Ashar, Y. K. (2021). Faktor risiko demam berdarah di negara tropis. *ASPIRATOR- Journal of Vector-borne Disease Studies*, 13(2), 147–158. <https://doi.org/10.22435/asp.v13i2.4629>
- Kalimuthu, K., Tseng, L. C., Murugan, K., Panneerselvam, C., Aziz, A. T., Benelli G., & Hwang, J. S. (2020). Ultrasonic technology applied against mosquito larvae. *Journal Applied Sciences*, 10(10), 3546. <https://doi.org/10.3390/app10103546>
- Kettle, D. S. (1995). *Medical and veterinary entomology*. CAB International.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2007). *Ekologi dan aspek perilaku vektor*. Direktorat Jenderal PP dan PL Jakarta.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2015). *Demam berdarah biasanya mulai meningkat di januari*. <https://www.kemkes.go.id/id/rilis-kesehatan/demam-berdarah-biasanya-mulai-meningkat-di-januari>
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2018). *Situasi penyakit dbd di Indonesia 2017*. Infodatin.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2022). *Membuka lembaran baru*. Laporan Tahunan 2022 (Demam Berdarah Dengue).
- Khan-Ahmadi, A., Vatandoost, H., Akhavan, A. A., Baniardalani, M., Khalifeh-Soltani, K., Azarm, A., Zahraei-Ramazani, A. (2023). Evaluation of repellency and lethal effects of ultrasonic waves on the *blattella germanica* (blattodea: blattellidae). *Journal of Arthropod-Borne Diseases*, 17(1), 83–93. <https://doi.org/10.18502/jad.v17i1.13204>
- Khansa, F. K., & Dzulkiflih. (2022). Rancang bangun perangkap nyamuk otomatis menggunakan sensor suhu dan kelembapan dht11 berbasis arduino uno. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 11(2), 28–37. <https://doi.org/10.26740/ifi.v11n02.p28-37>
- Lam, S. K., Chua, K. B., Hooi, Rahimah, M. A., Kumari, S., Thamaratnam, M., Chuah, S. K., Smith, D. W., & Sampson, I. A. (2001). Chikungunya infection- an emerging disease in Malaysia. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 32(3), 447–451. https://www.tm.mahidol.ac.th/seameo/2001_32_3/01-2689.pdf
- Lehane, M. J. (1991). *Biology of Blood-Sucking Insects*. Springer Dordrecht. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-011-7953-9>
- Mahoney, D. (2024). The best mosquito control gear for your patio or yard. *Nytimes*. <https://www.nytimes.com/wirecutter/reviews/mosquito-control-gear/>

- Mansyur, M., Rianti, E. D., & Setiawan, H. (2009). *Optimasi frekuensi dan dosis paparan gelombang ultrasonik untuk membunuh jentik nyamuk*. Fakultas Kedokteran Universitas Wijaya Kusuma Surabaya.
- Mawardi, S. P. (2023). *Uji optimalisasi suhu dan media penetasan larva nyamuk aedes aegypti skala laboratorium di laboratorium zoologi FMIPA Universitas Lampung*. Universitas Lampung.
- Medlock, J. M., Snow, K. R., & Leach, S. (2005). Potential transmission of west nile virus in the British Isles: An ecological review of candidate mosquito bridge vectors. *Medical and Veterinary Entomology*, 19(1), 2–21. <https://doi.org/10.1111/j.0269-283X.2005.00547.x>
- Neyberg, M. H., & Neyberg, H. J. (2001, Oktober 2). *Acoustic resonance*. Penemu, united States Patent. US 6,298,011 B1.
- Norris, D. A. (2004). Mosquito-borne diseases as a consequence of land use change. *Ecohealth*, 1, 19–24. <https://doi.org/10.1007/s10393-004-0008-7>
- Nugroho, S., S., Mujiyono., Setyaningsih, R., & Garjito, T., A. (2019). Daftar spesies dan data distribusi nyamuk aedes dan verallina (diptera: culicidae) terbaru di Indonesia. *Vektora: Jurnal Vektor dan Reservoir Penyakit*, 11(2), 111–120. <https://doi.org/10.22435/vk.v11i2.1462>
- Oesman, M. (1988, 23 Desember). *Dasar-dasar ultrasonografi diagnostik*. Seminar Penggunaan Ultrasonografi dalam Bidang Kedokteran, Denpasar, Bali.
- Ozkurt, H. (2021). Investigation of some ultrasonic sound frequencies effects on *culex pipiens sensustricto* (diptera: culicidae) larvae by using piezoelectric transducer. *International Journal of Tropical Insect Science*. 10.1007/s42690-021-00585-6, 41, 3225–3231. <https://doi.org/10.1007/s42690-021-00585-6>
- Patz, J. A., Graczyk, T. K., Geller, N., & Vittor, A. Y. (2000). Effects of environmental change on emerging parasitic diseases. *International Journal for Parasitology*, 30(12–13), 1395–1405. [https://doi.org/10.1016/S0020-7519\(00\)00141-7](https://doi.org/10.1016/S0020-7519(00)00141-7)
- Pratama, G. Y. (2015). Nyamuk *anopheles* sp.. dan faktor yang memengaruhi di Kecamatan Rajabasa, Lampung Selatan. *J Majority*, 4(1), 20–27.
- Purnomo, & Rahman, A. (2011). *Atlas diagnostik malaria*. Santoso N. (Ed.). EGC.
- Purwanto, & Fajar, H. M. (1986). *Fisika terapan*. Penerbit Karunika UT. 30–42.

- Rajasekhar, P., Fan, L., Nguyen, T., & Roddick, F. A. (2012). Impact of sonication at 20 kHz on *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena circinalis*, and *Chlorella* sp. *Water Research*, 46(5), 1473–1481. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.11.017>
- Rakotoarinia, M. R., Blanchet, F. G., Gravel, D., Lapen, R. D., Leighton, P., Ogden, N. H., & Ludwig, A. (2022). Effects of land use and weather on the presence and abundance of mosquito-borne disease vectors in a urban and agricultural landscape in Eastern Ontario, Canada. *PLoS ONE*, 17(3), e0262376. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262376>
- Raksanagara, A., S., Arisanti, N., & Rinawan, F. (2015). Dampak perubahan iklim terhadap kejadian demam berdarah di Jawa Barat. *Jurnal Sistem Kesehatan*, 1(1). <https://doi.org/10.24198/jsk.v1i1.10339>
- Rattanaarithikul, R., Harbach, R. E., Harrison, B. A., Panthusiri, P., Jones, J. W., & Coleman, R. E. (2005). Illustrated keys to the mosquitoes of Thailand. II. Genera *Culex* and *Lutzia*. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 36, 1–97.
- Rattanaarithikul, R., Harrison, B. A., Panthurisi, P., & Coleman, R. E. (2005). Illustrated Keys to the mosquitoes of Thailand I: Background; geographic distribution; lists of genera, subgenera, and species; and a key to the genera. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 36, 1–80.
- Resnick, R., & Halliday, D. (1992). *Fisika*. Erlangga.
- Ridha, M. R., Juhairiyah, & Fakhrizal, D. (2018). Pengaruh iklim terhadap peluang umur nyamuk *mansonia* spp di daerah endemis filariasis di Kabupaten Kapuas. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 17(2), 74. <https://doi.org/10.14710/jkli.17.2.74-79>
- Sabbagha, R. E. (1980). *Diagnostic ultrasound applied to obstetrics and gynecology*. Haper & Row. 19–31.
- Sakti, C. O. (2018). *Rancang bangun pembangkit frekuensi ultrasonik untuk karakterisasi perilaku akustik pada nyamuk aedes aegypti jantan dan betina* [Tesis]. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Sales, G., & Pye, D. (1974). *Ultrasonic communication by animals*. John Wiley & Sons, Inc. 281–285.
- Samad, I., Handito, A., Sugiarto, A., Setiana, E., Gunawan, D., Silalahi, F. S. M., Nurlina, Tondang, J. I. H., Thohir, B., Nisa, A. K., Gunanto, Y., Aryani, D., Buntoro, I. F., & Utarini, A. (2022). *Membuka lembaran baru laporan tahunan 2022 demam berdarah dengue*. Kementerian Kesehatan RI. https://p2p.kemkes.go.id/wp-content/uploads/2023/06/FINAL_6072023_Layout_DBD-1.pdf

- Sari, P., & Rahmi, A. R. (2017). Hubungan kepadatan penduduk dengan kejadian demam berdarah dengue di Palu Tahun 2010-2014. *Medika Tadulako: Jurnal Ilmiah Kedokteran Fakultas Kesehatan dan Ilmu Kesehatan*, 4(1), 49–58.
- Sarudji, D. (2006). *Kesehatan lingkungan*. Ilmu Media.
- Shahir, M. (2010). *An engineer's solution to housefly menace in a premise*. UTeM Press.
- Singh, J., Brar, G. S., Noorinder, Saini, S. S., & Sidhu, E. (2016). Solar energy driven autonomous smart ultrasonic mosquito repeller system. *International Conference on Control, Computing, Communication and Materials (ICCCCM)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICCCCM.2016.7918230>
- Snow, K. R. (1990). *Mosquitoes*. Richmond, Slough.
- Sonoto. (2009). *Kemampuan adaptasi nyamuk aedes terhadap kondisi air*. Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Muhammadiyah Semarang.
- Statman-Weil, Z. (2001). *Aedes communis: The pollinating mosquito*. US Forest Service. https://www.fs.usda.gov/wildflowers/pollinators/pollinator-of-the-month/aedes_communis.shtml
- Stone, A., & Knight, K. L. (2007, Desember 21). Culicidae (Diptera). *Tinjauan Taksonomi, Klasifikasi, dan Filogeni*, 591–638. <https://doi.org/10.1109/ICCCCM.2016.7918230>
- Steiger, D. M., Ritchie, S. A., & Laurance, S. W. (2016). Land use influences mosquito communities and disease risk on remote tropical islands: A case study using a novel sampling technique. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 94(2), 314–321. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.15-0161>
- Sutiono, B. T. (1982). *Studi keamanan penggunaan gelombang ultrasonik dalam kedokteran*. Fisika Institut Teknologi Bandung. 24–43.
- Sotavalta, O. (1952). Flight-Tone and Wing-Stroke Frequency of Insects and the Dynamics of Insect Flight. *Nature*, 170, 1057–1058. <https://doi.org/10.1038/1701057a0>
- Tarigan, E. M. E. P., Zulaiha, R., Rosmaladewi, K., & Andika. (2022, 15 Maret). Demam Berdarah Dengue (DBD): Determinan, Epidemiologi dan Program Penanggulangannya di Indonesia (Literatur Riview). *Epidemiolog.id: Komunitas Penggiat Epidemiologi Indonesia*. Diakses dari <https://www.epidemiolog.id/demam-berdarah-dengue-dbd-determinan-epidemiologi-dan-program-penanggulangannya-di-indonesia-literatur-riview/>

- Tauxe, G. M., Macwilliam, D., Boyle, S. M., Guda, T., & Ray, A. (2013). Targeting a Dual detector of skin and co2 to modify mosquito host seeking. *Cell*, 155(6), 1365–1379. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2013.11.013>
- Tawatsin, A., Thavara, U., Siriya-satien, P., & Permpoonburana, S. (2019). Development of a novel ultrasonic sound-generated device: The physical tool for controlling immature stages of mosquitoes transmitting dengue haemorrhagic fever (*aedes aegypti*) and filariasis (*culex quinquefasciatus*). *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 19(3), 14308–14314. <https://doi.org/10.26717/BJSTR.2019.19.003298>
- Tischner, H. (1953). Über den gehorsinn von stechmücken. *Acustica*, 3, 335–343. <https://www.ingentaconnect.com/contentone/dav/aaau/1953/00000003/00000005/art00004?crawler=true&mimetype=application/pdf>
- Tischner, H., & Schief, A. (1955). Fluggeräusch und Schallwahrnehmung bei *Aedes aegypti* L. (Culicidae). *Zool. Anz.*, 18(Suppl.), 453–460.
- Tito, S. I. (2017). Utilization of ultrasonic waves (*acheta domestica*) as a biocontrol of mosquito in Malang Agricultural Institute. *AIP Conference Proceedings*, 1908(1), 050006. <https://doi.org/10.1063/1.5012730>
- Tito, S. I., Yanuwadi, B., & Sulistya, C. (2011, Februari 2). Pengaruh gelombang ultrasonik jangkrik (*acheta domestica*) terhadap pola perilaku makan pasif dan gerak pasif tikus sawah (*rattus argentiventer*). *Jurnal Pembangunan dan Alam Lestari*, 1(2). <https://jpal.ub.ac.id/index.php/jpal/article/view/103>
- Tito, S. I. (2020, 27 Februari). Mengupas alat gelombang ultrasonik. *duta.co*. <https://duta.co/mengupas-alat-gelombang-ultrasonik>
- Tren, R., & Bate, R. (2001). *Malaria and the DDT Story*. The Institute of Economic Affairs.
- Tuaxe, G. M., Macwilliam, D., Boyle, S. M., Guda, T., & Ray, A. (2013). Targeting a dual detector of skin and co2 to modify mosquito host seeking. *Cell*, 155(6), 1365–79. <https://doi.org/10.1016/j.cell>
- Williams, C. R., Leach, K. J., Wilson, N. J., & Swart, V. R. (2008). The allee effect in site choice behaviour of egg-laying dengue vector mosquitoes. *Tropical Biomedicine*, 25(2), 140–144. https://www.msptm.org/files/140_-144_Craig_R_Williams.pdf
- Wilson, E. O. (1972). Animal Communication. *Science Am*, 227, 52–60.
- Yap, H. H., Chong, N. L., Foo, A. E., & Lee, C. Y. (1994). Dengue vector control: Present status and future prospects. *The Kaohsiung Journal Medical Sciences*, 11, 128–13.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB 6

Peran dan Edukasi Masyarakat dalam Mencegah Penyakit yang Ditularkan Nyamuk

Annisa Utami Rauf^{1*}, Ratna Dwi Puji Astuti², dan
Lusha Ayu Astari³

A. Pendahuluan

Pencegahan dan pengendalian penyakit tular vektor nyamuk membutuhkan berbagai macam upaya bersama untuk dapat menurunkan kasus yang terjadi di masyarakat. Edukasi menjadi landasan penting dalam pemahaman masyarakat dalam pencegahan penyakit (Adnyana & Surya, 2023; Swain et al., 2019; WHO, 2020). Pemberian edukasi yang tepat meningkatkan kapasitas masyarakat sehingga mampu mengetahui dan memahami cara-cara pencegahan penyakit terkait vektor nyamuk yang efektif. Beberapa upaya yang dapat dilakukan adalah membersihkan genangan air, menggunakan kelambu, dan mengenakan pakaian yang menutupi tubuh (Afagbedzi et al., 2022; Bandzuh et al., 2022). Edukasi memberikan pemahaman tentang jenis penyakit yang ditularkan oleh nyamuk, gejala-gejalanya, dan

A. U. Rauf*, R. D. P. Astuti, & L. A. Astari

*Universitas Gadjah Mada, e-mail: annisaur@ugm.ac.id

©2024 Editor & Penulis

Rauf, A. U., Astuti, R. D. P., & Astari, L. A. (2024). Peran dan edukasi masyarakat dalam mencegah penyakit yang ditularkan nyamuk. Dalam S. P. M. Wijayanti & A. L. Ramadona (Ed.), *Dinamika penyakit tular vektor nyamuk di Indonesia* (165–205). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.1589.c1276 E-ISBN: 978-602-6303-59-2

tindakan yang perlu dilakukan jika manusia tertular. Langkah-langkah pencegahan risiko yang tepat dan terarah diharapkan dapat menghindari penularan. Keterlibatan masyarakat secara aktif dan edukasi yang tepat merupakan kunci untuk memutus rantai penularan penyakit yang ditularkan oleh nyamuk (Adrianto et al., 2023).

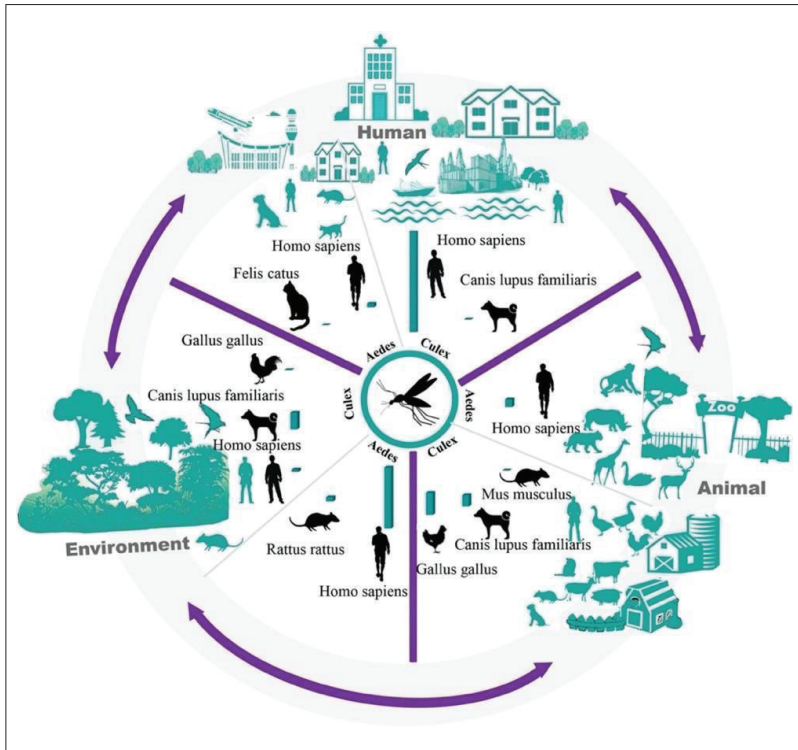
Peran para ahli kesehatan masyarakat dan inovasi program kesehatan perlu dimaksimalkan dalam upaya sosialisasi dan edukasi di seluruh lapisan masyarakat. Keterlibatan pemimpin adat dan pemuka agama setempat telah meningkatkan partisipasi masyarakat dalam program pencegahan penyakit yang ditularkan oleh nyamuk (Schoch-Spana et al., 2020; Vishnuprasad et al., 2022). Kegiatan pencegahan, seperti gotong-royong membersihkan lingkungan dari tempat perindukan nyamuk, kampanye penyuluhan kesehatan oleh kader, dan mendukung sosialisasi program menyebabkan kesadaran dapat tumbuh di dalam masyarakat (Nandha & Krishnamoorthy, 2012; Potter et al., 2019; Riyadi et al., 2022). Kesadaran masyarakat tersebut perlu dibangun sejak usia dini di berbagai tingkat pendidikan. Melalui edukasi, khususnya pada anak-anak di sekolah, banyak negara telah menunjukkan perbaikan kesehatan melalui paparan pesan perubahan perilaku kepada siswa dan masyarakat (Nasiatin et al., 2021; Vishnuprasad et al., 2022).

Bab ini menjelaskan pentingnya peran keterlibatan dan edukasi masyarakat dalam upaya mencegah penyebaran penyakit yang ditularkan oleh nyamuk. Melalui edukasi dan inovasi program partisipasi masyarakat yang tepat, masyarakat dapat memperoleh pengetahuan dan memiliki peran yang jelas untuk melindungi diri dan lingkungan dari nyamuk yang menjadi vektor penyakit. Masyarakat dapat berperan aktif dalam kegiatan pencegahan untuk membentuk kesadaran dan mengubah pola pikir, serta perilakunya secara berkelanjutan. Sinergi antara partisipasi masyarakat dan edukasi yang efektif diharapkan mampu melawan penyebaran penyakit yang ditularkan oleh nyamuk.

B. Peran Komunitas dalam Pemberantasan Sarang Nyamuk

Penyakit-penyakit yang disebabkan oleh vektor nyamuk, seperti demam berdarah dengue (DBD), malaria, dan chikungunya, menjadi ancaman serius bagi kesehatan masyarakat di Indonesia. Penyebaran penyakit terkait vektor nyamuk ini dapat terjadi dengan cepat dan memiliki dampak negatif pada individu dan komunitas (Afagbedzi et al., 2022; Mwangungulu et al., 2016; WHO, 2020). Pemberantasan vektor nyamuk memiliki peran yang sangat penting dalam upaya mengurangi penyebaran penyakit-penyakit tersebut. Selain inisiasi program yang dilakukan oleh pemerintah, kesadaran komunitas dalam rangka penyehatan lingkungan dan kesehatan masyarakat adalah hal yang sangat penting (Bandzuh et al., 2022; Santhi et al., 2020). Hal ini terkait dengan interaksi seluruh makhluk hidup dalam satu ekosistem yang berdampingan. Keterkaitan antara vektor nyamuk, manusia, hewan, dan lingkungan merupakan suatu siklus yang saling terkait dalam penyebaran penyakit (Adnyana & Surya, 2023; Wu et al., 2023).

Nyamuk berperan sebagai pembawa patogen penyebab penyakit dan berperan dalam menularkan patogen tersebut ke manusia. Patogen/agen penyakit seperti virus dengue pada penyakit DBD, *Plasmodium* sp. pada malaria, dan virus chikungunya pada penyakit chikungunya. Ketika nyamuk menggigit manusia yang terinfeksi patogen tersebut, maka patogen tadi akan masuk dan hidup ke dalam tubuhnya (Adrianto et al., 2023; Sousa et al., 2018). Saat nyamuk tersebut menggigit manusia lain, patogen dapat ditularkan ke manusia yang lain yang rentan melalui gigitan nyamuk. Faktor-faktor seperti suhu, kelembapan, vegetasi, dan kebersihan lingkungan adalah faktor utama yang memengaruhi populasi nyamuk. Lingkungan yang sesuai dapat memberikan kondisi yang ideal bagi nyamuk untuk berkembang biak dan menyebarkan penyakit. Gambar 6.1 menunjukkan hubungan antara manusia, hewan, dan lingkungan dalam satu keterkaitan yang kompleks dengan beberapa jenis vektor nyamuk (Wu et al., 2023).



Sumber: Wu et al. (2023)

Gambar 6.1 Keterkaitan Vektor Nyamuk dengan Manusia, Hewan, dan Lingkungan.

Dalam keterkaitan yang kompleks antara manusia, hewan, lingkungan, dan vektor nyamuk, terdapat dinamika yang memengaruhi penyebaran penyakit menular. Berdasarkan penelitian Wu et al. (2023), terdapat hubungan yang kompleks antara keempat elemen tersebut. Manusia tidak hanya berinteraksi dengan hewan domestik, ternak, atau hewan liar, tetapi juga memiliki dampak besar terhadap lingkungan mereka. Interaksi ini menjadi titik penting dalam penularan penyakit, baik antara manusia dan hewan maupun antara manusia dan vektor nyamuk. Vektor nyamuk, dengan berbagai spesies

yang berperan sebagai pembawa penyakit menular, menjadi elemen krusial dalam siklus penularan. Gigitan nyamuk yang terinfeksi dapat mentransmisikan patogen dari satu inang ke inang lainnya, serta menjadi perantara utama penyebaran penyakit, seperti malaria dan demam berdarah. Faktor lingkungan, seperti iklim, kelembapan, vegetasi, dan sumber air memiliki dampak besar pada kelimpahan dan distribusi nyamuk. Lingkungan yang mendukung perkembangbiakan nyamuk menjadi tempat yang potensial untuk penularan penyakit, sehingga menambah kompleksitas hubungan antara manusia, hewan, dan lingkungan.

1. Partisipasi Aktif dalam Program Pengendalian Vektor

Kampanye yang melibatkan partisipasi masyarakat biasanya tidak membuahkan hasil yang memuaskan. Hal ini disebabkan karena hanya sebagian kecil warga yang aktif mengelola dan hadir. Program yang melibatkan rencana untuk memobilisasi warga membutuhkan rencana dan persiapan yang matang (Brittain et al., 2019). Perencanaan dan pelaksanaan layanan kesehatan berbasis masyarakat memerlukan partisipasi aktif dari tenaga kesehatan daerah, anggota masyarakat, dan penyedia layanan kesehatan berbasis masyarakat. Mereka berperan dalam merencanakan, melaksanakan, dan memberikan dukungan dalam program kesehatan masyarakat (Dickin et al., 2014; Suwantika et al., 2020). Melalui kolaborasi ini, upaya kesehatan dapat dilakukan dengan lebih efektif dan hasil yang optimal dapat dicapai.

Community Engagement (CE) atau partisipasi masyarakat mendapatkan pengakuan yang signifikan sebagai dimensi penting dari penelitian biomedis, kesehatan masyarakat, dan kesehatan global termasuk penelitian penyakit tropis akibat nyamuk (Mwangungulu et al., 2016; Rajaa et al., 2022; Fryxell et al., 2022). Partisipasi langsung dari komunitas dalam mengidentifikasi dan menghilangkan sarang nyamuk memiliki peran yang penting dalam upaya pencegahan serta pengendalian penyakit yang disebarkan oleh nyamuk. Komunitas dapat terlibat secara aktif dalam mengawasi sarang nyamuk di se-

kitar lingkungan mereka, seperti di halaman rumah, kandang, atau tempat umum lainnya (Barker et al., 2020; Elsinga et al., 2017). Pemahaman tentang ciri-ciri sarang nyamuk, seperti genangan air yang menjadi tempat berkembang biak nyamuk, komunitas dapat mengidentifikasi potensi tempat perindukan nyamuk yang perlu diatasi. Komunitas juga dapat secara langsung menghilangkan sarang nyamuk, misalnya dengan membersihkan genangan air yang menjadi tempat perkembangbiakan nyamuk, menutup wadah yang berpotensi menjadi sarang nyamuk, dan mendukung program pengasapan untuk mengendalikan populasi nyamuk (Santhi et al., 2020; Suriami et al., 2020). Melalui partisipasi aktif komunitas, lingkungan yang lebih sehat dan pengendalian yang efektif terhadap nyamuk penyakit dapat tercapai.

Penerapan inovasi baru, seperti dalam kasus *World Mosquito Program* di Brazil, partisipasi dapat dilakukan dalam pelepasan *Aedes aegypti* dengan Wolbachia, menyelenggarakan dan memantau perangkat nyamuk atau berpartisipasi dalam panitia lokal untuk memantau kemajuan inisiatif ini (Costa et al., 2021). Hal yang sama dilakukan oleh peneliti gabungan dari Universitas Gadjah Mada (UGM) dan Monash University. Penelitian ini melibatkan isolasi Wolbachia dan transfernya ke dalam telur nyamuk *Ae. aegypti* yang kemudian dilepaskan di rumah penduduk di berbagai lokasi di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Hasilnya sangat positif, dengan penurunan sebanyak 77% dalam kasus dengue dan penurunan sebesar 86% dalam kasus dengue yang memerlukan perawatan di rumah sakit. Temuan ini menunjukkan bahwa dengan keterlibatan dan penerimaan komunitas dalam pengendalian nyamuk *Ae. aegypti* sangat efektif dalam mengurangi penyebaran penyakit dengue (Indriani et al., 2023).

Pada beberapa wilayah tertentu, peran partisipasi komunitas akan lebih maksimal ketika melibatkan peran pimpinan lokal ataupun pimpinan agama setempat (Bardosh et al., 2023; Harris & Carter, 2019). Dengan adanya keterlibatan pimpinan suku, komunitas, dan pemuka agama, masyarakat diharapkan bisa lebih menerima dan

mempercepat informasi yang disampaikan langsung oleh tenaga kesehatan. Keberadaan mereka sebagai perantara antara tenaga kesehatan dan masyarakat membantu membangun kepercayaan dan memperkuat pesan-pesan kesehatan yang disampaikan. Hal ini meningkatkan potensi efektivitas intervensi dan program kesehatan dalam masyarakat terkait pemberantasan sarang nyamuk (PSN) (Soerachman et al., 2023; Sutriyawan et al., 2022). Persyaratan keterlibatan masyarakat dari para pemimpin opini lokal berkaitan dengan prinsip-prinsip inti kerangka etika kesehatan masyarakat, seperti otonomi pribadi, transparansi, kewajiban, dan solidaritas (Schoch-Spana et al., 2020).

Kurangnya kesadaran dan pemahaman masyarakat tentang pentingnya pengendalian vektor nyamuk, beserta kekurangan informasi mengenai langkah-langkah yang tepat untuk aktif berpartisipasi dalam program pengendalian, menjadi hambatan signifikan dalam upaya pencegahan penyakit yang ditularkan oleh vektor. Pendidikan masyarakat yang tidak memadai tentang risiko penyakit yang ditularkan oleh nyamuk, serta pentingnya tindakan pencegahan dapat mengurangi partisipasi aktif (Gregorio et al., 2019; Martinez-Cruz et al., 2023; Nandha & Krishnamoorthy, 2012). Salah satu di antaranya adalah ketakutan terhadap produk kimia yang digunakan dalam pengendalian nyamuk, kekhawatiran tentang efek samping, atau ketidakpercayaan terhadap keamanan metode pengendalian tertentu dapat mengurangi partisipasi masyarakat. Faktor psikologis ini dapat menjadi hambatan dalam memperoleh dukungan dan partisipasi luas dari masyarakat. Hal lain yang menjadi hambatan dalam pelaksanaan program pengendalian vektor nyamuk adalah adanya keterbatasan anggaran, peralatan, dan tenaga kerja. Tanpa sumber daya yang memadai, program-program ini mungkin tidak dapat dijalankan secara efektif, termasuk dalam hal pemantauan, penelitian, atau tindakan pencegahan yang diperlukan (Impoinvil et al., 2007; Moise et al., 2019). Komunitas yang terpinggirkan secara sosial, ekonomi, atau geografis sering kali tidak terjangkau oleh program-program pengendalian.

dalian vektor nyamuk. Hal ini bisa menjadi kendala serius karena mereka mungkin berisiko lebih tinggi terhadap penyakit menular yang ditularkan oleh nyamuk. Beberapa wilayah di Indonesia mengalami hal ini di antaranya di pelosok Maluku Utara dan Papua yang masih kesulitan untuk bebas dari malaria (Ipa et al., 2021; Karyana et al., 2016).

2. Program Edukasi, Kampanye, dan Sosialisasi

Sebagian besar orang yang tinggal di daerah endemis demam berdarah dapat terkena demam berdarah tanpa sepengetahuan mereka (Atinga et al., 2019). Hal ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya tingkat edukasi yang rendah dan informasi yang terbatas. Masalah tersebut sering kali dialami oleh wilayah ataupun daerah dengan akses informasi terbatas dan kualitas sumber daya manusia (SDM) yang rendah (Adams et al., 2020; Wilson et al., 2020). Untuk meniasati keterbatasan tersebut, beberapa program pemerintah telah dibuat oleh berbagai negara dengan perencanaan keberlanjutan yang disusun lebih terencana. Salah satu upaya yang dilakukan adalah melibatkan lembaga pendidikan seperti sekolah dan universitas sebagai mitra untuk memperkenalkan para siswa dengan informasi dasar terkait penyakit dan upaya pemberantasan sarang nyamuk di lingkungan (Hayat et al., 2021; Nuur Ramdhani et al., 2022; Riyadi et al., 2022).

Salah satu program intervensi vektor di India menggunakan poster dan selebaran sebagai media edukasi di sekolah. Para siswa diberikan edukasi yang terdiri dari 12 jam instruksi kelas, yang meliputi pelajaran tentang dinamika nyamuk, identifikasi sumber nyamuk, pencegahan penyakit yang ditularkan oleh vektor, serta manajemen yang diperlukan (Swain et al., 2019). Berdasarkan data hasil *pre* dan *post-test*, skor rata-rata siswa yang mengalami perubahan dalam survei praintervensi pada kedua kelompok adalah sekitar 33, dan meningkat menjadi 38,6 dan 53,9 pada kelompok kontrol dan intervensi secara berturut-turut. Beberapa penelitian lain terkait peningkatan penge-

tahuan masyarakat serta perubahan perilaku, identifikasi, dan pencegahan dini terkait penyakit yang berasal dari vektor juga berhasil dilakukan di Meksiko, India, dan Thailand (Martinez-Cruz et al., 2023; Nandha & Krishnamoorthy, 2012; Tshering et al., 2015).

Selain edukasi yang melibatkan banyak lembaga pendidikan, kampanye dan mobilisasi program untuk memotivasi partisipasi aktif masyarakat juga telah memberikan dampak yang positif (Bardosh et al., 2023; Gilmore et al., 2020; Pramestuti et al., 2022). Peningkatan kesadaran masyarakat akan mendukung upaya pencegahan menjadi lebih efektif dan berkelanjutan dalam membantu mengurangi penyebaran penyakit yang ditularkan oleh nyamuk. Di Indonesia, beberapa program kesehatan berbasis mobilisasi masyarakat telah dilakukan di berbagai daerah. Di Sumba Barat, kader kesehatan dan fasilitas layanan seperti Posyandu memainkan peran kunci dalam menyebarkan informasi tentang nyamuk dan penyakit yang ditularkannya, serta membagikan dan mendorong penggunaan jaring berinsektisida (Bandzuh et al., 2022). Penting untuk mengenali pemicu motivasi masyarakat dalam mengambil bagian dalam program kontrol vektor. Motivasi ini bervariasi di antara individu atau kelompok dalam masyarakat karena faktor budaya yang signifikan. Di Indonesia, perempuan memiliki peran dalam menjaga kesehatan keluarga sehingga ada norma budaya yang menyatakan bahwa perempuanlah yang terlibat dalam pencegahan demam berdarah untuk menjaga kesehatan keluarga. Para ibu akan memiliki peran yang besar dalam memastikan kebersihan lingkungan dan kondisi keluarga (Sulistyawati et al., 2019).

Media edukasi memainkan peran penting dalam memberikan informasi kepada masyarakat tentang penularan penyakit yang disebabkan oleh vektor nyamuk. Pamflet, brosur, dan poster dengan ilustrasi yang jelas dan informatif tersebar luas di tempat-tempat umum dan acara kesehatan (Wahdini & Puspa Sari, 2023). Gambar dan tulisan singkat dapat menyampaikan informasi tentang cara penularan penyakit, gejala yang perlu diperhatikan, serta langkah-langkah pencegahan yang efektif. Aksesibilitas informasi saat ini

menjadi lebih mudah dan luas berkat internet. Terobosan dalam konten multimedia, seperti video, animasi, dan infografis interaktif memperkaya cara penyampaian materi edukatif. Keberadaan teknologi *Virtual Reality* (VR) dan *Augmented Reality* (AR) memungkinkan masyarakat untuk merasakan pembelajaran yang lebih mendalam dan realistis (Prachyabrued et al., 2020). Simulasi penyakit yang menyebar melalui vektor dapat dipresentasikan dengan lebih detail, menghadirkan pengalaman yang lebih nyata.

Hasil dari penelitian tentang penyuluhan DBD menggunakan video sebagai media untuk meningkatkan pengetahuan masyarakat di wilayah Jakarta Utara menunjukkan bahwa penggunaan video dalam penyuluhan DBD berkontribusi pada peningkatan pengetahuan responden (Ramdhani et al., 2022). Video memiliki dampak yang lebih besar dalam upaya promosi kesehatan karena lebih mudah dipahami, menyertakan seluruh pancaindra, dan memiliki daya tarik lebih karena menyajikan suara dan gambar yang bergerak. Penelitian lain dilakukan di Kabupaten Bantul, Yogyakarta, telah memanfaatkan sistem android untuk melacak *breeding place* dari nyamuk. Pelatihan tersebut menggunakan aplikasi android dapat menemukan tempat berkembang biaknya nyamuk penyebab demam berdarah, serta membantu memantau, mencatat, dan melacak lokasi jentik nyamuk dengan lebih baik (Aini et al., 2019).

Upaya untuk menarik minat masyarakat agar berpartisipasi dalam upaya pencegahan vektor dilakukan melalui penggunaan beragam media edukasi yang menyoroti isu-isu terkait vektor. Salah satu target audiens yang dituju adalah anak-anak dan remaja yang memiliki minat terhadap permainan. Dalam pendekatan ini, media edukasi yang disesuaikan dengan minat mereka dalam permainan dikembangkan untuk menyampaikan pesan-pesan penting terkait pencegahan vektor. Penggunaan permainan tradisional, seperti engklek dan monopoli sebagai media untuk meningkatkan perilaku pengendalian vektor DBD di SD Negeri Karangjati, Bantul, memberikan perbedaan yang signifikan antara *pre-test* (sebelum intervensi) dan *post-test* (setelah intervensi) terkait perilaku siswa (Herawati et al., 2018). Peningkatan

pengetahuan ini juga diperoleh warga di pemukiman pemulung di Blok O, Yogyakarta, yang menggunakan metode pengolahan serai sebagai tanaman obat pengusir nyamuk (Vitaningtyas et al., 2019). Media lain juga diaplikasikan pada anak-anak dan ibu-ibu yang bertujuan meningkatkan pemahaman masyarakat, seperti *booklet* dan *Snake Leader Card* atau permainan ular tangga.

C. Peran Institusi Kesehatan dan Pemerintah dalam Pemberantasan Sarang Nyamuk

Pemberantasan sarang nyamuk melibatkan peran penting dari institusi pendidikan, kesehatan, dan pemerintah. Institusi kesehatan bertanggung jawab dalam menyediakan informasi dan edukasi kepada masyarakat mengenai pentingnya menghilangkan sarang nyamuk dan mengadopsi tindakan pencegahan. Survei dan pemantauan terhadap lokasi sarang nyamuk juga diadakan untuk mengembangkan strategi dan program yang efektif dalam pemberantasan nyamuk. Institusi kesehatan wajib melatih tenaga kesehatan dan petugas lapangan untuk melakukan tindakan pemberantasan sarang nyamuk dengan tepat (Adrianto et al., 2023). Di sisi lain, pemerintah memiliki peran dalam menetapkan kebijakan dan peraturan terkait pencegahan dan pengendalian penyakit yang ditularkan oleh nyamuk. Pemerintah mengalokasikan sumber daya dan anggaran yang memadai untuk mendukung program terkait, serta bertanggung jawab dalam mengoordinasikan kerja sama antarinstansi terkait (Suriami et al., 2020). Beberapa upaya dan sosialisasi kesehatan dikemas dalam acara, pertemuan, dan kampanye yang menarik sehingga menarik minat dan perhatian masyarakat. Beberapa program dan kampanye yang dilakukan di berbagai negara adalah sebagai berikut.

- 1) *Mosquito Awareness Week* di Karibia yang diselenggarakan *Pan American Health Organization* (PAHO), diadakan berbagai rangkaian kegiatan untuk membuat warga peduli pada pencegahan pembentukan sarang nyamuk yang berasal dari lingkungan rumah dengan kegiatan, yang meliputi acara peluncuran, lokakarya,

forum, serta aksi sekolah dan masyarakat yang bertujuan untuk mengurangi tempat perkembangbiakan nyamuk. Mereka akan diberi instruksi agar membuang barang bekas dan menumpuk di halaman rumah dengan menutup atau membalik posisi barang yang bisa menampung air, seperti ban bekas, sekop, dan pecahan kaca (PAHO, 2018).

- 2) Kampanye *Fight the Bite* di Australia telah secara signifikan meningkatkan kesadaran dan praktik pencegahan di antara orang-orang yang terlibat. Kampanye ini mengedepankan strategi “menutupi, mengusir, membersihkan” sebagai bagian dari upaya pencegahan nyamuk. Strategi ini melibatkan penggunaan pakaian dengan penutup tubuh yang panjang, berwarna terang, dan longgar untuk melindungi dari gigitan nyamuk, penggunaan pengusir nyamuk, dan metode pembuangan yang efektif, serta tindakan pengosongan atau penutupan wadah penampung air yang berpotensi menjadi tempat perkembangbiakan nyamuk. *Fight the Bite* tidak hanya terbukti dapat diadopsi sebagai kampanye yang terstandar tetapi juga dapat diadaptasi secara regional untuk meningkatkan kesadaran tentang deteksi dan penyakit yang ditularkan oleh nyamuk oleh Departemen Kesehatan Australia dan para *stakeholder* (Potter et al., 2019).
- 3) Kampanye *World Mosquito Program* (WMP)-Wolbachia Indonesia oleh Pemerintah Australia, *Save the Children Indonesia* yang bermitra dengan pemerintah Provinsi Bali dan Yayasan Kerti Praja Bali. Setelah keberhasilan di Kota Yogyakarta, WMP-Wolbachia kemudian dilaksanakan di Bali yang bertujuan untuk meningkatkan pengetahuan tentang metode Wolbachia melalui kegiatan sosialisasi yang melibatkan masyarakat secara langsung. Selain itu, kader juga dilatih untuk melakukan edukasi *door-to-door* dan melibatkan masyarakat aktif dalam pemberantasan sarang nyamuk (WMP, 2024).
- 4) *Zero Malaria Starts with Me*, sebuah kampanye untuk pemberantasan malaria di Malawi. Para pemimpin politik, sektor swasta, dan masyarakat yang terkena dampak diminta untuk

bersama-sama mengambil tindakan dalam meningkatkan upaya pencegahan, diagnosis, dan pengobatan malaria. Kampanye ini menyediakan berbagai sumber daya, seperti alat advokasi, pesan, grafik, dan pembelajaran untuk mendukung upaya dalam mengadvokasi pemberantasan malaria di komunitas. Di Zambia, telah dibentuk *End Malaria Fund* yang bertujuan untuk mengumpulkan dana yang sebelumnya sulit diakses sehingga sumber daya yang lebih besar dapat dialokasikan untuk pencegahan dan pengendalian malaria. Di Uganda dan Tanzania, juga terbentuk koalisi parlementer resmi yang menunjukkan komitmen para pemimpin politik dalam upaya memerangi malaria (African Union Commission, 2018). Beberapa video dan poster terkait gerakan ini telah dipublikasikan di media sosial dan menjadi salah satu topik yang kerap disebutkan dalam pidato kenegaraan seluruh presiden di Afrika. Beberapa poster *Zero Malaria Starts with Me* yang telah rilis ditunjukkan pada Gambar 6.2.

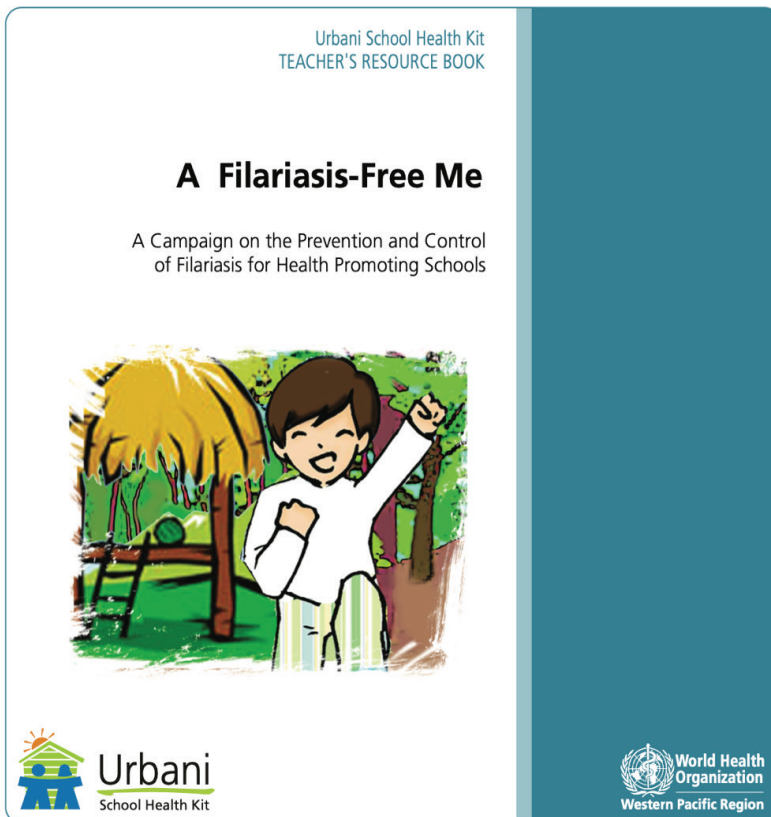


Keterangan: Gerakan ini merupakan kampanye pencegahan bersama malaria yang dilaksanakan di sebagian besar negara di Afrika.

Sumber: African Union Commission (2018)

Gambar 6.2 Poster Perayaan Dua Tahun Berlangsungnya Kampanye *Zero Malaria Starts with Me* Tahun 2020.

- 5) *A Filariasis-Free Me*, kampanye pencegahan dan pengendalian filariasis untuk promosi kesehatan di sekolah yang dibuat oleh WHO. Pada kampanye ini, disediakan buku saku yang bisa digunakan oleh guru/tenaga pengajar untuk memberi informasi dasar kepada siswa tentang penyakit filariasis, bagaimana penyebaran filariasis, upaya pencegahan, serta tanda-tanda fisik dan gejala penyakit filariasis (WHO, 2018). Adapun tampilan dari sampul buku yang telah dipublikasikan ditunjukkan oleh Gambar 6.3.



Sumber: WHO (2018)

Gambar 6.3 Sampul E-book dari Buku *A Filariasis-Free Me* oleh WHO

Buku ini tidak diperjualbelikan.

- 6) Program pengabdian masyarakat oleh berbagai perguruan tinggi di Indonesia. Sebagai salah satu kontribusi terhadap pencegahan penyakit terkait vektor nyamuk, berbagai program dan rencana pengabdian telah dibuat setiap tahun dengan anggaran yang berasal dari pemerintah dan dana otonomi perguruan tinggi. Beberapa penelitian yang telah dilakukan adalah pengendalian nyamuk secara hayati oleh Fakultas Biologi, UGM di Gunungkidul dan Pengembangan Desa Binaan di Karimunjawa oleh Fakultas Kedokteran, Kesehatan Masyarakat dan Keperawatan, UGM. Program terkait juga telah dilakukan beberapa fakultas kesehatan masyarakat di berbagai kampus, seperti Universitas Islam Kalimantan, Universitas Andalas, Universitas Airlangga, dan perguruan tinggi lainnya di seluruh penjuru Indonesia. Biasanya, perguruan tinggi akan merangkaikan kegiatan pengabdian dengan program Kuliah Kerja Nyata (KKN) oleh mahasiswa dengan menggandeng perangkat desa dan warga lokal setempat (Fakultas Biologi UGM, 2021).
- 7) Intervensi yang difokuskan pada kota-kota dengan kasus demam berdarah yang tinggi dapat memberikan dampak yang lebih besar terhadap penurunan kasus demam berdarah. Program Wolbachia yang diterapkan berdasarkan cakupan wilayah, mampu melindungi masyarakat dengan lebih efisien dibandingkan intervensi yang berfokus pada individu, seperti vaksin, terutama di lingkungan perkotaan dan daerah yang berisiko, seperti di Kabupaten Bantul dan Sleman, di mana program Wolbachia telah terbukti berhasil (Indriani et al., 2023; Suwantika et al., 2020).
- 8) Di Kota Bandung, pemantauan populasi nyamuk *Aedes aegypti* di komunitas perkotaan dilakukan dengan menggunakan ovitrap luar ruangan, terutama jika sebagian warga enggan memberikan akses kepada petugas untuk masuk ke dalam rumah mereka. Meskipun demikian, data berbasis indeks ovitrap dari evaluasi rumah tangga merupakan yang paling dapat diandalkan, tetapi sering kali kurang tersedia saat partisipasi masyarakat rendah.

Sebagai alternatif, penempatan ovitrap di area publik yang memerlukan usaha manusia yang lebih sedikit mungkin bisa menjadi solusi terhadap partisipasi rendah warga lokal. Untuk mendukung hal ini, kantor kesehatan setempat atau pemimpin komunitas menggunakan survei rutin penuh waktu yang bertugas melakukan inspeksi berkala pada ovitrap yang ditempatkan di area luar ruangan atau publik. Selain itu, pelatihan kader dan peningkatan kapasitas *stakeholder* juga telah dilakukan oleh pemerintah (Rinawan et al., 2017; Sasmita et al., 2021).

- 9) Program percepatan eliminasi malaria di Papua. Untuk memperluas cakupan pengobatan malaria, pemerintah Indonesia telah menerapkan program deteksi dini dan penyediaan obat anti malaria melalui pemberdayaan kader malaria lokal, terutama di wilayah-wilayah yang memiliki keterbatasan akses terhadap layanan kesehatan, kekurangan tenaga medis, dan pasokan peralatan kesehatan yang memadai. Program pencegahan malaria yang mengalami perubahan kebijakan dalam penggunaan pengobatan awal harus melibatkan kedua sektor, baik publik maupun swasta sehingga praktik diagnosis dini dan pengobatan yang efisien dapat memberikan manfaat yang luas (Karyana et al., 2016).
- 10) Pemerintah Kabupaten Wonosobo berhasil mengurangi insiden malaria dari 0,16 pada tahun 2007 menjadi 0,01 pada tahun 2011, meskipun pemerintah lokal memotong pendanaan untuk program malaria dari 14.699 USD pada tahun 2007 menjadi 977 USD pada tahun 2011. Dinas Kesehatan Kabupaten Wonosobo telah melakukan advokasi dan negosiasi berkelanjutan dengan otoritas eksekutif dan legislatif, serta sektor lain untuk mempertahankan dukungan dari masyarakat dan memanfaatkan dana sektor lainnya untuk pengendalian malaria. Keberhasilan ini diperoleh dengan aktifnya pemerintah dalam kolaborasi antarsektor (Murhandarwati et al., 2015).

D. Intervensi dan Penelitian Terkini yang Melibatkan Masyarakat

Peneliti memiliki peran penting dalam intervensi dan penelitian terkini yang melibatkan masyarakat dalam pemberantasan penyakit vektor nyamuk. Penelitian yang baik dapat mengumpulkan data tentang penyebaran penyakit, menganalisis efektivitas intervensi, dan merancang program pencegahan. Selain itu, peneliti juga berperan sebagai pendidik yang menyebarkan informasi tentang pencegahan penyakit dan bekerja sama dengan komunitas untuk memperkuat partisipasi dan memberikan bukti ilmiah terkini. Penelitian terbaru telah memanfaatkan teknologi secara masif untuk mendukung upaya keterlibatan masyarakat dalam pemberantasan sarang nyamuk dan edukasi gejala dan penyakit terkait vektor nyamuk. Sistem informasi geografis (SIG), penginderaan jarak jauh, dan aplikasi seluler, di antara aplikasi teknologi lainnya, sangat penting dalam memerangi penyebaran penyakit yang ditularkan melalui vektor (Carrasco-Escobar et al., 2019). Pemetaan lokasi berisiko tinggi, pengumpulan data secara *real-time*, dan mendorong keterlibatan masyarakat telah membuat aktivitas pemantauan, pengawasan, dan pengendalian vektor penyakit menjadi lebih efektif.

Penelitian terkini telah melibatkan *drone* sebagai alat untuk menggambarkan wilayah rentan dan sulit untuk dijangkau oleh petugas di lapangan. *Drone* dan teknologi canggih telah terbukti menjadi solusi efektif dalam mengatasi masalah nyamuk, penyebaran penyakit, dan pemetaan untuk mengidentifikasi sarang nyamuk di daerah yang sulit dijangkau (Hardy et al., 2022). Alat ini dilengkapi dengan sensor dan kamera yang sensitif sehingga cepat dan efisien dalam mencari serta mengidentifikasi sarang nyamuk yang biasanya tersembunyi dan sulit diakses (Sarira et al., 2020).

Kerja sama dengan masyarakat dan *stakeholder* diharapkan mampu memanfaatkan perkembangan teknologi dan inovasi penelitian terkait pengendalian vektor nyamuk. Masyarakat diharapkan

dapat menyediakan informasi yang relevan terkait kondisi wilayah dan menjaga beberapa peralatan yang digunakan dalam memantau jentik. Pejabat atau pimpinan di unit kesehatan masyarakat dapat secara efektif mengatasi penyakit yang ditularkan melalui vektor dan meningkatkan kesehatan masyarakat secara umum dengan menggabungkan teknologi dan keterlibatan masyarakat (Mwangungulu et al., 2016; Nandha & Krishnamoorthy, 2012). Beberapa penelitian serta intervensi yang melibatkan masyarakat dalam upaya pemberantasan sarang nyamuk dan pencegahan penyakit akibat vektor nyamuk disajikan pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1 Studi Intervensi dan Pencegahan Penyakit Akibat Vektor Nyamuk yang Melibatkan Komunitas

No.	Program/ Pendekatan	Kota/ Negara	Keunggulan	Sumber
1.	Intervensi dengan <i>Behavior Change Communication</i> (BCC)	Punjab, India	Intervensi berbasis sekolah secara berkala untuk remaja menggunakan berbagai teknik menarik, interaktif, dan audio-visual direkomendasikan untuk membawa perubahan perilaku positif menuju pencegahan penyakit yang ditularkan oleh nyamuk.	(Vishnuprasad et al., 2022)
2.	Pendekatan <i>citizen science</i> untuk surveilans dan pengendalian nyamuk malaria	Rwanda	Mengatasi hambatan kelembagaan dalam pengendalian malaria, termasuk rendahnya partisipasi masyarakat, keterbatasan sumber daya, dan pengecualian daerah terpencil dalam pemantauan nyamuk. Program ini dapat memberikan solusi yang lebih berkelanjutan dalam pengendalian malaria.	(Murindahabi et al., 2018)

No.	Program/ Pendekatan	Kota/ Negara	Keunggulan	Sumber
3.	<i>Health-Pro-moting School model</i>	Odisha, India	Menggabungkan masalah kesehatan masyarakat, termasuk penyakit akibat vektor kurikulum kesehatan di sekolah.	(Swain et al., 2019)
4.	Pengawasan Vektor <i>Crowdsourcing</i>	Ulanga, Tanzania	Melatih pengetahuan dan pengalaman masyarakat untuk mengidentifikasi daerah nyamuk paling banyak atau paling sedikit, bahkan tanpa survei entomologi dan membutuhkan biaya lebih rendah.	(Mwangungulu et al., 2016)
5.	<i>VazaDengue</i> dalam upaya pencegahan dan pengendalian dange.	Brazil	Platform <i>web</i> dan aplikasi seluler yang menyediakan alat untuk visualisasi konten yang relevan dalam skala besar menggunakan jangkauan banyak orang di sosial media terkait pencegahan dan pengendalian penyakit yang ditularkan oleh nyamuk.	(Sousa et al., 2018)
6.	Pemetaan dengan partisipasi masyarakat menggunakan GIS	Malaysia	Dengan georeferensi peta yang dihasilkan masyarakat saat identifikasi tempat berkembangbiakan, staf kesehatan masyarakat dapat memvisualisasikan dan mendiskusikan persepsi risiko masyarakat, serta mengidentifikasi wilayah prioritas pengendalian vektor.	(Dickin et al., 2014)

No.	Program/ Pendekatan	Kota/ Negara	Keunggulan	Sumber
7.	<i>Community Health Volunteers (CHVs)</i>	India	Melibatkan relawan kesehatan masyarakat untuk memberikan pelayanan kesehatan akan membantu dalam desentralisasi pelayanan kesehatan. Penelitian ini mendukung pentingnya partisipasi masyarakat untuk menghasilkan bukti positif pada tingkat individu, komunitas, dan organisasi.	(Rajaa et al., 2022)
8.	Program pelibatan kelompok masyarakat- <i>Community-Based Health Planning and Service (CHPS)</i>	Ghana	Skala jejaring sosial yang diadakan oleh organisasi sosial dapat dimanfaatkan untuk memanfaatkan kohesi sosial dan keragaman untuk peningkatan skala CHPS. Keikutsertaan dari berbagai profesi dan latar belakang, keragaman meningkat sehingga individu lebih cenderung melihat diri mereka bekerja sama untuk mempromosikan CHPS.	(Atinga et al., 2019)
9.	<i>Citizen science dan smart-phone e-entomology</i>	Australia	Pengawasan nyamuk pada <i>citizen science</i> menggunakan perangkat dan e-entomologi dapat memberikan keragaman spesies yang masuk akal dan sinyal data musiman yang berbeda serta biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan program surveilans profesional. Pendekatan ini dapat menjadi bagian dari program perlindungan kesehatan masyarakat.	(Sousa et al., 2020)

No.	Program/ Pendekatan	Kota/ Negara	Keunggulan	Sumber
10.	Program komunikasi dan perubahan persepsi publik terkait penyebaran virus zika.	Virgin Island, Amerika Serikat	Bekerja dengan organisasi masyarakat setempat merupakan langkah penting dalam pengembangan strategi komunikasi. Juru bicara dari perwakilan masyarakat dan komunikasi melalui internet adalah strategi yang lebih disukai untuk menyebarkan informasi tentang zika virus.	(Brittain et al., 2019)
11.	Intervensi edukasi menggunakan <i>Precede-Proceed Model (PPM)</i> dan <i>Diffusion of Innovations Theory (DIT)</i> .	Yucatan, Mexico	Intervensi pendidikan menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan skor rata-rata dan perilaku dalam adopsi inovasi ($p < 0,05$). Metode ini sangat inovatif untuk pengendalian dan pencegahan penyakit terkait dengan pelepasan nyamuk jantan <i>Aedes aegypti</i> ber-Wolbachia.	(Martinez-Cruz et al., 2023)
12.	Analisis distribusi <i>long-lasting insecticidal nets</i> (LLIN) atau kelambu insektisida untuk mengurangi kejadian Malaria.	Ghana	Distribusi kelambu yang tersebar luas di seluruh Ghana pada tahun 2018 telah dikaitkan dengan penurunan persentase kasus malaria yang dilaporkan di seluruh fasilitas kesehatan. Dengan memberikan LLIN kepada masyarakat di seluruh Ghana, pemerintah dan organisasi lain bertujuan untuk meningkatkan jumlah orang yang terlindungi dari malaria.	(Afagbedzi et al., 2022)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Program/ Pendekatan	Kota/ Negara	Keunggulan	Sumber
13.	Penggambaran citra beresolusi tinggi di wilayah perkembangbiakan larva dengan intervensi <i>larval source management</i> (LSM)	Peru	Citra multispektral resolusi tinggi mampu membedakan profil badan air di mana wilayah Ny. darlingi memiliki kemungkinan besar sebagai pusat berkembang biak dari larva (akurasi keseluruhan 86,73%–96,98%). Pendekatan ini memberikan kekuatan pada konsep penggunaan gambar beresolusi tinggi untuk mendeteksi situs perkembangbiakan vektor malaria.	(Carrasco-Escobar et al., 2019)
14.	Partisipasi masyarakat dengan implementasi <i>Health Belief Model</i> dan <i>Theory of Planned Behaviour</i>	Curaçao	Niat dan perilaku untuk melakukan pengendalian tempat perkembangbiakan nyamuk sangat tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa persepsi terhadap tingkat keparahan chikungunya dan demam berdarah dapat menjadi faktor motivasi bagi individu untuk terlibat dalam kegiatan pengendalian tempat perkembangbiakan nyamuk.	(Elsinga et al., 2017)

No.	Program/ Pendekatan	Kota/ Negara	Keunggulan	Sumber
15.	Intervensi kartu kendali pengendalian vektor DBD melalui pemberdayaan masyarakat	Indonesia	Studi ini telah menyumbangkan wawasan tentang pengetahuan, sikap, dan praktik pencegahan di Yogyakarta setelah intervensi demam berdarah berbasis masyarakat selama beberapa dekade. Hasil ini menunjukkan bahwa orang tidak hanya membutuhkan pengetahuan tetapi juga motivasi yang kuat untuk berpartisipasi dalam kegiatan pengendalian vektor.	(Sulistiyawati et al., 2019)
16.	Keterlibatan masyarakat dengan menggunakan kerja sama komunitas untuk menghilangkan media perkembangbiakan nyamuk.	Indonesia	Cara terbaik untuk mencegah berkembang biaknya populasi vektor adalah dengan menerapkan pengendalian vektor pada tingkat yang sangat lokal, dengan menghilangkan tempat perkembangbiakannya, seperti wadah dan pembuangan sampah dengan melibatkan partisipasi masyarakat.	(Garjito et al., 2021)
17.	Kampanye berbasis pengetahuan dan peningkatan kesadaran akan meningkatkan implementasi pencegahan demam berdarah, termasuk program 3M (menguras, menutup, dan mengubur).	Indonesia	Pendekatan berbasis komunitas dan sektor publik akan memberdayakan populasi berisiko, mengurangi biaya intervensi, membangun keberlanjutan, dan meningkatkan dampak intervensi pengendalian vektor.	(Santhi et al., 2020).

No.	Program/ Pendekatan	Kota/ Negara	Keunggulan	Sumber
18.	Data mengenai spesies vektor malaria, mobilitas masyarakat dari daerah endemis malaria, dan pelaksanaan surveilans migrasi malaria di-evaluasi untuk mencegah penularan malaria di dalam desa.	Indonesia	Masyarakat di Desa Pengadegan dan Sidareja telah berpartisipasi dalam melaporkan kedatangan pekerja migran dan menganjurkan tes darah pada semua migran. Partisipasi masyarakat dalam melaporkan TKI yang tiba di Desa Panusupan dan Tunjungmuli diharapkan dapat menurunkan angka kasus Malaria.	(Pramestuti et al., 2022).

E. Pemberdayaan Masyarakat melalui Kearifan Lokal

Pemberdayaan masyarakat adalah pendekatan yang memberikan peran aktif kepada masyarakat dalam merencanakan, melaksanakan, dan memonitor program-program yang berdampak pada kehidupan mereka (Barker et al., 2020; Gilmore et al., 2020). Mengintegrasikan kearifan lokal dalam pemberdayaan masyarakat dapat menjadi salah satu pendekatan yang efektif dan berkelanjutan dalam pencegahan penularan vektor. Memadukan pengetahuan, keahlian, dan praktik lokal yang diwariskan dari generasi ke generasi, masyarakat dapat mengenali dan mengatasi masalah kesehatan yang spesifik di lingkungannya (Susanto et al., 2022). Pada pelaksanaan program pencegahan penularan vektor nyamuk, penting untuk memanfaatkan kearifan lokal agar masyarakat dapat mengidentifikasi faktor risiko dan menciptakan solusi yang sesuai dengan kebutuhan dan kondisi setempat agar strategi pencegahan penularan vektor dapat menjadi lebih holistik, efektif, dan berkelanjutan (Naserrudin et al., 2022).

Sebagai salah satu budaya yang tidak lepas dari aktivitas masyarakat Indonesia, kegiatan gotong-royong adalah suatu budaya positif di mana semua pihak bekerja sama dalam melakukan kegiatan komunal, seperti kerja sama dalam kebersihan lingkungan desa, membantu tetangga untuk memindahkan rumah, dan membangun gapura desa. Gotong-royong telah banyak dimanfaatkan sebagai upaya realistis dalam mendukung kampanye lingkungan sehat dan mencegah pembentukan sarang nyamuk (Hasrin & Ali, 2023; Zamzuri et al., 2021). Di Provinsi Bali, gotong-royong dimanfaatkan sebagai wadah aktivitas fisik, tempat berkumpul dan bekerja sama setiap hari jumat untuk membersihkan lingkungan, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6.4.

Selain mendukung pengendalian penyakit, pemberdayaan masyarakat melalui kearifan lokal juga memiliki dampak positif pada aspek kesehatan misalnya meningkatkan hubungan yang harmonis antarwarga dan pelestarian lingkungan yang erat dengan perlindungan ekosistem lokal (Hadiputro et al., 2021). Ketika masyarakat merasa memiliki peran penting dalam pengambilan keputusan dan mera-



Sumber: Desa Anturan (2021)

Gambar 6.4 Kegiatan Jumat Bersih yang Dirangkaikan dengan Gotong-royong Pembersihan Lingkungan oleh Perangkat Desa dan Masyarakat

sakan manfaat nyata dari program pencegahan, mereka akan lebih termotivasi untuk berpartisipasi dalam berbagai aspek kehidupan sosial dan ekonomi. Hal ini dapat memperkuat ikatan sosial dalam komunitas, meningkatkan kualitas hidup, dan mendorong pembangunan yang berkelanjutan (Purwani & Arvianti, 2020). Menyelaraskan kearifan lokal dengan program-program pemerintah atau organisasi non-pemerintah membutuhkan komunikasi yang efektif dan saling pengertian dengan semua pihak yang terlibat. Komitmen jangka panjang dan sumber daya yang memadai dibutuhkan untuk mengembangkan kearifan lokal, membangun kapasitas masyarakat, dan menjaga kesinambungan program (Elsinga et al., 2017; Karyana et al., 2016; Sasmita et al., 2021).

F. *Sharing Best Practices: Pemberantasan Sarang Nyamuk yang Sukses dari Berbagai Daerah*

Sangat penting untuk menemukan dan berbagi metode pemberantasan sarang nyamuk yang efektif dalam upaya terus-menerus untuk memerangi penyakit yang ditularkan oleh vektor, terutama yang disebabkan oleh nyamuk. Bagian ini bertujuan untuk menunjukkan berbagai inisiatif dari berbagai daerah yang telah mencapai hasil signifikan dalam penghapusan sarang nyamuk dengan melibatkan edukasi dan perubahan perilaku di masyarakat. Beberapa praktik yang dilaksanakan oleh organisasi dan komunitas terkait pemberantasan sarang nyamuk di antaranya sebagai berikut.

1) Kampanye bersih-bersih yang melibatkan masyarakat

Kampanye membersihkan lingkungan dengan mengajak masyarakat untuk berpartisipasi menjadi program yang umum di wilayah dengan jumlah nyamuk yang cukup tinggi, seperti di wilayah pesisir. Program ini melibatkan mobilisasi anggota masyarakat, termasuk relawan dan tokoh masyarakat, untuk melakukan kegiatan pembersihan secara rutin di daerah yang rawan menjadi sarang nyamuk, seperti genangan air dan tempat sampah. Melalui kampanye kesadaran dan edukasi,

masyarakat diberdayakan untuk memiliki rasa tanggung jawab terhadap lingkungannya dan secara aktif berpartisipasi dalam menjaga kebersihan serta menghilangkan tempat berkembang biak nyamuk (Elsinga et al., 2017; Mwangungulu et al., 2016). Program ini berhasil mengurangi populasi nyamuk dan meminimalkan terjadinya penyakit yang ditularkan oleh nyamuk.

Kejadian demam berdarah di Provinsi Bali mengalami peningkatan yang signifikan dari tahun 2018 hingga 2020. Faktor-faktor seperti nyamuk, lingkungan, dan inang berkontribusi terhadap fluktuasi angka kesakitan dan kematian selama pandemi. Untuk mengatasi hal ini, pemberantasan vektor demam berdarah (DBD) di Provinsi Bali dilakukan dengan menggunakan strategi yang disebut sebagai kegiatan SIGAP (Santun-Inovatif-Giat bekerja-Amanah Profesional) meliputi pentingnya menguras, mengubur, menutup, memantau tempat yang potensial sebagai tempat nyamuk berkembang biak (4M-Plus), mengintegrasikan layanan informasi DBD, menggunakan larvasida alami, menginformasikan keberadaan vektor melalui juru pemantau jentik (JUMANTIK) dan melaksanakan pemantauan mingguan. Penerapan strategi SIGAP dapat mengurangi vektor DBD dan mempercepat proses pemberantasan penyakit DBD di Bali (Adnyana & Surya, 2023).

Penelitian yang dilakukan di Kuba berfokus pada efektivitas pendekatan berbasis masyarakat dalam pencegahan demam berdarah dengan meningkatkan koordinasi lintas sektoral. Metode pengendalian yang dilakukan adalah dengan menyingkirkan kontainer yang tidak terpakai, menutup tangki air, serta membersihkan tempat umum dan tempat tinggal untuk mengendalikan nyamuk *Ae. aegypti*. Pemberdayaan masyarakat, melalui intervensi lintas sektor dan pengorganisasian masyarakat, terbukti lebih efektif dalam kegiatan sanitasi dan pencegahan DBD dibandingkan dengan kegiatan pengendalian rutin saja. Pembentukan kelompok kerja masyarakat dan intervensi dalam peningkatan kapasitas, surveilans DBD, komunikasi sosial, perubahan perilaku, dan evaluasi partisipatif merupakan elemen

kunci dari pemberdayaan masyarakat. Dinas kesehatan daerah juga berperan dalam menyelenggarakan pelatihan bagi tenaga kesehatan tentang pencegahan DBD, koordinasi antarsektor, meningkatkan partisipasi masyarakat, dan perencanaan strategis (WHO, 2020).

Kasus malaria di Indonesia makin menurun sejak tahun 2010, di mana terdapat tiga daerah yang berhasil mencapai eliminasi malaria, yaitu Kabupaten Manggarai, Kabupaten Manggarai Timur, dan Kota Kupang. Kabupaten Manggarai berhasil mencapai eliminasi malaria pada tahun 2019, sementara Kabupaten Manggarai Timur dan Kota Kupang berhasil mencapai eliminasi malaria pada tahun 2020 dengan mendistribusikan sebanyak 973.800 kelambu berinsektisida kepada masyarakat sasaran. Pendistribusian kelambu terbanyak dilakukan di daerah dengan tingkat endemisitas malaria yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa kesadaran masyarakat untuk menerima program bantuan kelambu dan keberhasilan kader dalam menjangkau wilayah dengan risiko malaria akan menjadi hal positif yang perlu ditiru oleh beberapa wilayah lain di Indonesia (Direktorat Pencegahan, 2022).

Strategi kampanye pembersihan berbasis masyarakat dilengkapi implementasi strategi SIGAP di Provinsi Bali, dan efektivitas pemberdayaan masyarakat di Kuba, terbukti bahwa melibatkan dan memberdayakan masyarakat sangat penting dalam memerangi penyakit yang ditularkan oleh nyamuk seperti demam berdarah. Melalui partisipasi aktif, pelatihan, kolaborasi lintas sektoral, dan kegiatan yang berkelanjutan, masyarakat dapat berperan penting dalam mengurangi populasi nyamuk, menghilangkan tempat berkembang biak, dan mencegah penyebaran penyakit.

2) Praktik tradisional untuk pengendalian nyamuk

Daerah dengan warisan budaya yang kaya memiliki potensi untuk menjalankan program yang dilaksanakan dengan memanfaatkan praktik-praktik tradisional untuk pengendalian nyamuk. Pemanfaatan kearifan lokal membantu untuk menghidupkan kembali metode tradisional, seperti menanam tanaman pengusir nyamuk, menggunakan

insektisida alami yang berasal dari tanaman lokal, dan mengadopsi teknik pengelolaan air yang tepat. Program ini tidak hanya secara efektif mengurangi tempat perindukan nyamuk, tetapi juga mengurangi prevalensi penyakit yang ditularkan oleh nyamuk. Beberapa program mampu menunjukkan keampuhan kearifan lokal sekaligus melestarikan dan merayakan warisan budaya masyarakat. Di Yogyakarta, program Merti Kali, salah satu budaya lokal untuk bersih-bersih sungai oleh masyarakat tercatat telah meningkatkan kelestarian lingkungan dan derajat kesehatan masyarakat. Seiring bertambahnya lokasi kegiatan Merti Kali pada tahun 2016, terjadi penurunan jumlah kasus DBD di beberapa lokasi (Hadiputro et al., 2021).

Penelitian di Sumba Timur yang dilakukan melalui wawancara dan diskusi grup menunjukkan bahwa masyarakat menggunakan berbagai metode tradisional untuk mengendalikan nyamuk di dalam rumah mereka. Praktik tradisional ini termasuk menggunakan sumber daya alam, seperti daun pepaya dan daun/buah sukun, yang dikenal sebagai pengusir nyamuk. Para peserta diskusi menyebutkan bahwa mereka meletakkan daun-daun tersebut di bawah tempat tidur atau membakarnya untuk mengeluarkan aroma yang berfungsi sebagai pengusir nyamuk hingga keesokan harinya. Beberapa anggota masyarakat juga bercerita tentang penggunaan produk komersial yang mengadopsi praktik tradisional, seperti minyak dengan aroma serai wangi yang dioleskan pada kaki dan tangan anak-anak saat mereka tidur. Hal ini mencerminkan praktik tradisional yang biasa dilakukan dengan menaruh serai wangi di bawah tempat tidur (Bandzuh et al., 2022). Pengalaman tersebut menggambarkan berbagai metode yang digunakan oleh masyarakat untuk memerangi masalah yang berkaitan dengan nyamuk. Keberhasilan penerapan praktik-praktik tradisional yang dikombinasikan dengan pemanfaatan produk komersial memiliki potensi untuk diimplememtasikan berbagai pendekatan untuk meningkatkan strategi pengendalian nyamuk dan melindungi masyarakat dari penyakit yang ditularkan oleh nyamuk.

G. Temuan dan Rekomendasi

1. Peningkatan Pengetahuan

Beberapa studi menemukan bahwa pengetahuan yang luas tentang nyamuk vektor, penyakit yang ditularkan, dan cara-cara pencegahan menjadi kunci dalam mengurangi risiko penularan. Masyarakat yang teredukasi cenderung lebih aktif dalam melindungi diri mereka sendiri dan lingkungan dari nyamuk vektor. Keterlibatan masyarakat dalam upaya pemberantasan sarang nyamuk dan pencegahan penyakit yang disebabkan oleh vektor nyamuk memiliki dampak yang signifikan. Edukasi masyarakat terbukti efektif dalam meningkatkan pengetahuan dan kesadaran mereka tentang langkah-langkah pencegahan yang efektif. Selain itu, partisipasi aktif masyarakat dalam kegiatan pemberantasan sarang nyamuk juga memiliki kontribusi penting. Adanya mekanisme yang jelas tentang pelaporan sarang nyamuk, serta kasus penyakit yang diduga disebabkan oleh nyamuk vektor juga perlu ditingkatkan sehingga tindakan penanggulangan dapat dilakukan dengan cepat dan tepat.

2. Partisipasi dan Kampanye Program

Impelementasi kerja sama yang erat antara pemerintah, lembaga kesehatan, peneliti dan masyarakat sangat diperlukan dalam menerapkan kebijakan dan program pencegahan penyakit akibat vektor nyamuk. Kampanye edukasi yang intensif untuk memberikan pemahaman yang lebih baik kepada masyarakat tentang pencegahan dan pengendalian sarang nyamuk perlu dilakukan dengan rutin dan menyeluruh. Pelibatan kelompok sukarelawan yang terlatih dapat menjadi solusi dalam melaksanakan tindakan pemberantasan sarang nyamuk, serta menjalankan program pengendalian vektor. Memanfaatkan kearifan lokal dan praktik-praktik tradisional dapat memberikan solusi yang efektif dan berkelanjutan yang disesuaikan dengan kebutuhan dan konteks budaya masyarakat. Kolaborasi dan koordinasi

dengan berbagai pihak dan pemangku kepentingan terkait dapat meningkatkan efektivitas program pemberantasan sarang nyamuk secara keseluruhan. Pelajaran dan pengalaman ini dapat diterapkan di daerah lain untuk menciptakan inisiatif pengendalian nyamuk yang sukses dan berbasis masyarakat. Melalui pelatihan dan pemberdayaan, masyarakat diberikan pengetahuan dan keterampilan yang diperlukan untuk mengambil peran proaktif dalam mengelola lingkungan sekitar mereka. Hal ini termasuk pengenalan tentang praktik pengendalian vektor, cara penggunaan insektisida secara aman, teknik pembersihan lingkungan yang efektif, serta pemahaman tentang risiko dan dampak dari nyamuk vektor terhadap kesehatan.

3. Pengadaan Media Informasi

Perlu ada upaya untuk memperkuat media edukasi, termasuk kampanye penyuluhan, informasi yang akurat dan mudah diakses melalui berbagai platform media, serta peningkatan akses masyarakat terhadap sumber informasi yang andal tentang penyakit yang ditularkan oleh vektor. Tidak semua daerah memiliki akses internet sehingga media komunikasi yang digunakan harus menyesuaikan keadaan wilayah dan tingkat pendidikan masyarakat. Kader ataupun sukarelawan harus menguasai komunikasi persuasif kepada masyarakat sesuai dengan level pendidikan ataupun bahasa sehari-hari yang digunakan.

4. Penggunaan Teknologi dan Sistem Pemantauan Partisipatif

Pendekatan inovatif dalam mengumpulkan informasi dan melacak penyebaran vektor penyakit, seperti nyamuk dilakukan secara *real-time*. Masyarakat dapat mengakses aplikasi seluler khusus atau platform *online* yang disediakan oleh pemerintah atau lembaga kesehatan untuk melaporkan adanya nyamuk atau kasus penyakit yang dialami di sekitar lingkungan mereka.

Referensi

- Adams, E. A., Stoler, J., & Adams, Y. (2020). Water insecurity and urban poverty in the Global South: Implications for health and human biology. *American Journal of Human Biology*, 32(1), e23368. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23368>
- Adrianto, H., Subekti, S., Arwati, H., & Rohmah, E. A. (2023). *Pengendalian nyamuk aedes: Dari teori, laboratorium, hingga implementasi di komunitas*. CV Jejak.
- Adnyana, I. M. D. M., & Surya, A. (2023). Strategy to control and eradicate dengue hemorrhagic fever vectors in Bali. *International Journal of Public Health Science (IJPHS)*, 12(1), 196. <https://doi.org/10.11591/ijphs.v12i1.22201>
- Afagbedzi, S. K., Alhassan, Y., & Guure, C. (2022). Impact evaluation of long-lasting insecticidal nets distribution campaign on malaria cases reported at outpatient departments across all the regions in Ghana. *Malaria Journal*, 21(1), 370. <https://doi.org/10.1186/s12936-022-04393-2>
- African Union Commission. (2018). Zero malaria starts with me. <https://zeromalaria.africa>
- Aini, R., Rohman, H., Widiastuti, R., & Sulisty, A. (2019). Upaya peningkatan deteksi breeding place demam berdarah dengue dengan aplikasi berbasis android di Kecamatan Imogiri Bantul, Yogyakarta. *Jurnal Pengabdian*, 2(2), 167. <https://doi.org/10.26418/jplp2km.v2i2.33015>
- Atinga, R. A., Agyepong, I. A., & Esena, R. K. (2019). Willing but unable? Extending theory to investigate community capacity to participate in Ghana's community-based health planning and service implementation. *Evaluation and Program Planning*, 72, 170–178. <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2018.10.001>
- Bandzuh, J. T., Ernst, K. C., Gunn, J. K. L., Pandarangga, S., Yowi, L. R. K., Hobgen, S., Cavanaugh, K. R., Kalaway, R. Y., Kalunga, N. R. J., Killa, M. F., Ara, U. H., Uejio, C. K., & Hayden, M. H. (2022). Knowledge, attitudes, and practices of Anopheles mosquito control through insecticide treated nets and community-based health programs to prevent malaria in East Sumba Island, Indonesia. *PLOS Global Public Health*, 2(9), e0000241. <https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0000241>

- Bardosh, K., Desir, L., Jean, L., Yoss, S., Poovey, B., Nute, A., De Rochars, M. V. B., Telfort, M.-A., Benoit, F., Chery, G., Charlotin, M. C., & Noland, G. S. (2023). Evaluating a community engagement model for malaria elimination in Haiti: Lessons from the community health council project (2019–2021). *Malaria Journal*, 22(1), 47. <https://doi.org/10.1186/s12936-023-04471-z>
- Barker, K. M., Ling, E. J., Fallah, M., VanDeBogert, B., Kodl, Y., Macauley, R. J., Viswanath, K., & Kruk, M. E. (2020). Community engagement for health system resilience: Evidence from Liberia's Ebola epidemic. *Health Policy and Planning*, 35(4), 416–423. <https://doi.org/10.1093/heapol/czz174>
- Braz Sousa, L., Fricker, S. R., Doherty, S. S., Webb, C. E., Baldock, K. L., & Williams, C. R. (2020). Citizen science and smartphone e-entomology enables low-cost upscaling of mosquito surveillance. *Science of The Total Environment*, 704, 135349. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135349>
- Brittain, A. W., August, E. M., Romero, L., Sheahan, M., Krashin, J., Ntansah, C., Honein, M. A., Jamieson, D. J., Ellis, E. M., Davis, M. S., & Lathrop, E. (2019). Community perspectives on contraception in the context of the Zika virus in the U.S. Virgin Islands: Implications for communication and messaging. *Women's Health Issues*, 29(3), 245–251. <https://doi.org/10.1016/j.whi.2019.01.007>
- Carrasco-Escobar, G., Manrique, E., Ruiz-Cabrejos, J., Saavedra, M., Alava, F., Bickersmith, S., Prussing, C., Vinetz, J. M., Conn, J. E., Moreno, M., & Gamboa, D. (2019). High-accuracy detection of malaria vector larval habitats using drone-based multispectral imagery. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 13(1), e0007105. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007105>
- Costa, G. B., Smithyman, R., O'Neill, S. L., & Moreira, L. A. (2021). How to engage communities on a large scale? lessons from world mosquito program in Rio de Janeiro, Brazil. *Gates Open Research*, 4, 109. <https://doi.org/10.12688/gatesopenres.13153.2>
- Desa Anturan. (2021, 11 Juni). Gotong Royong. <http://anturan-buleleng.desa.id/index.php/first/artikel/90-Gotong-royong>
- Dickin, S. K., Schuster-Wallace, C. J., & Elliott, S. J. (2014). Mosquitoes & vulnerable spaces: Mapping local knowledge of sites for dengue control in Seremban and Putrajaya Malaysia. *Applied Geography*, 46, 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.11.003>

- Direktorat Jenderal Pencegahan dan Pengendalian Penyakit. (2022). *Laporan Kinerja Ditjen P2P Tahun 2021*. Ditjen P2P.
- Elsinga, J., Van Der Veen, H. T., Gerstenbluth, I., Burgerhof, J. G. M., Dijkstra, A., Grobusch, M. P., Tami, A., & Bailey, A. (2017). Community participation in mosquito breeding site control: An interdisciplinary mixed methods study in Curaçao. *Parasites & Vectors*, 10(1), 434. <https://doi.org/10.1186/s13071-017-2371-6>
- Fakultas Biologi UGM. (2021). *Fakultas Biologi UGM melaksanakan pengabdian pengenalan dan pelatihan pengendalian nyamuk secara hayati di Desa Kedungpoh, Kecamatan Nglipar, Kabupaten Gunungkidul dalam program PKM-MBKM 2021*. <https://biologi.ugm.ac.id/2021/11/16/fakultas-biologi-ugm-melaksanakan-pengabdian-pengenalan-dan-pelatihan-pengendalian-nyamuk-secara-hayati-di-desa-kedungpoh-kecamatan-nglipar-kabupaten-gunungkidul-dalam-program-pkm-mbkm-2021/>
- Fryxell, R. T. T., Camponovo, M., Smith, B., Butefish, K., Rosenberg, J. M., Andsager, J. L., Day, C. A., & Willis, M. P. (2022). Development of a community-driven mosquito surveillance program for vectors of la crosse virus to educate, inform, and empower a community. *Insects*, 13(2), 164. <https://doi.org/10.3390/insects13020164>
- Garjito, T. A., Widiarti, W., Hidajat, M. C., Handayani, S. W., Mujiyono, M., Prihatin, M. T., Ubaidillah, R., Sudomo, M., Satoto, T. B. T., Manguin, S., Gavotte, L., & Frutos, R. (2021). Homogeneity and possible replacement of populations of the dengue vectors *aedes aegypti* and *aedes albopictus* in Indonesia. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 11, 705129. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.705129>
- Gilmore, B., Ndejjo, R., Tchetchia, A., De Claro, V., Mago, E., Diallo, A. A., Lopes, C., & Bhattacharyya, S. (2020). Community engagement for COVID-19 prevention and control: A rapid evidence synthesis. *BMJ Global Health*, 5(10), e003188. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2020-003188>
- Gregorio, E. R., Medina, J. R. C., Lomboy, M. F. T. C., Talaga, A. D. P., Hernandez, P. M. R., Kodama, M., & Kobayashi, J. (2019). Knowledge, attitudes, and practices of public secondary school teachers on Zika Virus Disease: A basis for the development of evidence-based Zika educational materials for schools in the Philippines. *PLOS ONE*, 14(3), e0214515. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214515>

- Hadiputro, D. D., Handayani, Y., & Syahbana, J. A. (2021). Merti kali: River conservation based on local wisdom. Dalam D. D. Hadiputro (Ed.), *Proceedings of the International Seminar on Language, Education, and Culture (ISOLEC 2021)*. Advances in Social Science, Education and Humanities Research. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.211212.013>
- Hardy, A., Oakes, G., Hassan, J., & Yussuf, Y. (2022). Improved Use of Drone Imagery for Malaria Vector Control through Technology-Assisted Digitizing (TAD). *Remote Sensing*, 14(2), 317. <https://doi.org/10.3390/rs14020317>
- Harris, M. L., & Carter, E. D. (2019). Muddying the waters: A political ecology of mosquito-borne disease in coastal Ecuador. *Health & Place*, 57, 330–338. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2019.05.010>
- Hasrin, K. N., & Ali, N. F. (2023). Knowledge, attitude and practice towards dengue prevention among students at Tan Sri Mustaffa Babjee College, Universiti Putra Malaysia. *Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences*, 19(5), 130–138. <https://doi.org/10.47836/mjmhs.19.5.19>
- Hayat, F., Nurdiauwati, E., & Kurniatillah, N. (2021). Edukasi gerakan pemberantasan nyamuk (psn) demam berdarah pada anak usia sekolah dasar di Kecamatan Jawilan Kabupaten Serang. *Jurnal PengaMAS*, 4(2), 146–152. <https://doi.org/10.33387/pengamas.v4i2.2488>
- Herawati, V., Kasjono, H. S., & Windarso, S. E. (2018). Engklek dan monopoli sebagai media untuk meningkatkan perilaku pengendalian vektor DBD pada siswa SD Negeri Karangjati, Bantul. *Sanitasi: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(1), 21–31. <https://doi.org/10.29238/sanitasi.v10i1.779>
- Impoinvil, D. E., Ahmad, S., Troyo, A., Keating, J., Githeko, A. K., Mbogo, C. M., Kibe, L., Githure, J. I., Gad, A. M., Hassan, A. N., Orshan, L., Warburg, A., Calderón-Arguedas, O., Sánchez-Loría, V. M., Velit-Suarez, R., Chadee, D. D., Novak, R. J., & Beier, J. C. (2007). Comparison of mosquito control programs in seven urban sites in Africa, the Middle East, and the Americas. *Health Policy*, 83(2–3), 196–212. <https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2007.01.009>
- Indriani, C., Tanamas, S. K., Khasanah, U., Ansari, M. R., Rubangi, Tantowijoyo, W., Ahmad, R. A., Dufault, S. M., Jewell, N. P., Utarini, A., Simmons, C. P., & Anders, K. L. (2023). Impact of randomised Wolbachia deployments on notified dengue cases and insecticide fogging for dengue control in Yogyakarta City. *Global Health Action*, 16(1), 2166650. <https://doi.org/10.1080/16549716.2023.2166650>

- Ipa, M., Laksono, A. D., Astuti, E. P., Prasetyowati, H., Pradani, F. Y., Hendri, J., Ruliansyah, A., Surendra, H., & Elyazar, I. R. F. (2021). Sub-national disparities in accessing anti-malarial drug treatment in eastern Indonesia. *BMC Public Health*, 21(1), 1548. <https://doi.org/10.1186/s12889-021-11602-1>
- Karyana, M., Devine, A., Kenangalem, E., Burdarm, L., Poespoprodjo, J. R., Vemuri, R., Anstey, N. M., Tjitra, E., Price, R. N., & Yeung, S. (2016). Treatment-seeking behaviour and associated costs for malaria in Papua, Indonesia. *Malaria Journal*, 15(1), 536. <https://doi.org/10.1186/s12936-016-1588-8>
- Martinez-Cruz, C., Arenas-Monreal, L., Gomez-Dantes, H., Villegas-Chim, J., Barrera-Fuentes Gloria, A., Toledo-Romani Maria, E., Pavia-Ruz, N., Che-Mendoza, A., & Manrique-Saide, P. (2023). Educational intervention for the control of *Aedes aegypti* with *Wolbachia* in Yucatan, Mexico. *Evaluation and Program Planning*, 97, 102205. <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2022.102205>
- Moise, I. K., Zulu, L. C., Fuller, D. O., & Beier, J. C. (2019). Persistent barriers to implementing efficacious mosquito control activities in the Continental United States: Insights from vector control experts. In A. J. Rodriguez-Morales (Ed.), *Current Topics in Neglected Tropical Diseases*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.76774>
- Murhandarwati, E. E. H., Fuad, A., Sulistyawati, Wijayanti, M. A., Bia, M. B., Widartono, B. S., Kuswantoro, Lobo, N. F., Supargiyono, & Hawley, W. A. (2015). Change of strategy is required for malaria elimination: A case study in Purworejo District, Central Java Province, Indonesia. *Malaria Journal*, 14(1), 318. <https://doi.org/10.1186/s12936-015-0828-7>
- Murindahabi, M. M., Asingizwe, D., Poortvliet, P. M., Van Vliet, A. J. H., Hakizimana, E., Mutesa, L., Takken, W., & Koenraadt, C. J. M. (2018). A citizen science approach for malaria mosquito surveillance and control in Rwanda. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 86–87(1), 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2018.07.005>
- Mwangungulu, S. P., Sumaye, R. D., Limwagu, A. J., Siria, D. J., Kaindoa, E. W., & Okumu, F. O. (2016). Crowdsourcing vector surveillance: Using community knowledge and experiences to predict densities and distribution of outdoor-biting mosquitoes in Rural Tanzania. *PLOS ONE*, 11(6), e0156388. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156388>

- Nandha, B., & Krishnamoorthy, K. (2012). Impact of education campaign on community-based vector control in hastening the process of elimination of lymphatic filariasis in Tamil Nadu, South India. *Health Education Research*, 27(4), 585–594. <https://www.jstor.org/stable/45111467>
- Naserrudin, N. A., Monroe, A., Culleton, R., Hod, R., Jeffree, M. S., Ahmed, K., & Hassan, M. R. (2022). Reimagining zoonotic malaria control in communities exposed to Plasmodium knowlesi infection. *Journal of Physiological Anthropology*, 41(1), 14. <https://doi.org/10.1186/s40101-022-00288-y>
- Nasiatin, T., Pertiwi, W. E., Setyowati, D. L., & Palutturi, S. (2021). The roles of health-promoting media in the clean and healthy living behavior of elementary school students. *Gaceta Sanitaria*, 35, S53–S55. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2020.12.015>
- Pan American Health Organization's (PAHO). (2018, 10 May). Mosquito Awareness Week: Calling all citizens to the frontlines of mosquito control. <https://www.paho.org/en/news/10-5-2018-mosquito-awareness-week-calling-all-citizens-frontlines-mosquito-control>
- Potter, A., Jardine, A., Morrissey, A., & Lindsay, M. D. A. (2019). Evaluation of a Health Communication Campaign to Improve Mosquito Awareness and Prevention Practices in Western Australia. *Frontiers in Public Health*, 7, 54. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2019.00054>
- Prachyabrued, M., Haddawy, P., Tengputtipong, K., Yin, M. S., Bicut, D., & Laosiritaworn, Y. (2020). Immersive visualization of dengue vector breeding sites extracted from street view images. *2020 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*, 37–42. <https://doi.org/10.1109/AIVR50618.2020.00016>
- Pramestuti, N., Kesuma, A. P., Wijayanti, S. P. W., & Pribadi, L. (2022). Prevention of indigenous malaria cases by strengthening migration surveillance at village level in Purbalingga Regency, Central Java Province, Indonesia. *WHO South-East Asia Journal of Public Health*, 11(2). https://journals.lww.com/wsep/fulltext/2022/11020/prevention_of_indigenous_malaria_cases_by.4.aspx
- Purwani, T., & Arvianti, I. (2020). Constructing harmonization of multicultural society. *Social Science Learning Education Journal*, 5(06), 157–170. <https://www.sslej.in/index.php/sslej/article/view/3418>

- Rajaa, S., Sahu, S. K., & Thulasingam, M. (2022). Assessment of Community Health Volunteers contribution and factors affecting their health care service delivery in selected urban wards of Puducherry – A mixed-methods operational research study. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 17, 101135. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2022.101135>
- Ramdhani, A. N., Ernawati, K., Jannah, F., Rizon, J. M. E., Abdusyakur, A. F., Batubara, L., & Tunru, I. S. A. (2022). Pengaruh penyuluhan DBD dengan media video terhadap pengetahuan masyarakat di Kampung Kesepatan, Cilincing Jakarta Utara. *Majalah Sainstekes*, 9(1), 023–031. <https://doi.org/10.33476/ms.v9i1.2228>
- Rinawan, F. R., Dewi, I. P. P., Haifa, G. Z., Suharno, K. D., Oktavinus, K., & Lyn, P. S. (2017). Community movement in applying mosquito net on house ventilations: An initial support for green architecture to decrease dengue disease in Bandung Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 91, 012023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/91/1/012023>
- Riyadi, A., Marwanto, A., Pardosi, S., Septiyanti, S., Sahran, S., & Heriyanto, H. (2022). Pemberdayaan kader jumantik dalam pemberantasan demam berdarah dengue di Kecamatan Pondok Kelapa Kabupaten Bengkulu Tengah. *Jurnal Kreativitas Pengabdian Kepada Masyarakat (PKM)*, 5(2), 479–486. <https://doi.org/10.33024/jkpm.v5i2.4455>
- Santhi, H., Marsaulina, I., & Nurmaini. (2020). Revenue, knowledge, attitudes, and implementation regarding the dengue fever prevention program in Medan, Indonesia. *Britain International of Exact Sciences (BloEx) Journal*, 2(1), 77–83. <https://doi.org/10.33258/bioex.v2i1.102>
- Sarira, T. V., Clarke, K., Weinstein, P., Koh, L. P., & Lewis, M. (2020). Rapid identification of shallow inundation for mosquito disease mitigation using drone-derived multispectral imagery. *Geospatial Health*, 15(1). <https://doi.org/10.4081/gh.2020.851>
- Sasmita, H. I., Neoh, K.-B., Yusmalinar, S., Anggraeni, T., Chang, N.-T., Bong, L.-J., Putra, R. E., Sebayang, A., Silalahi, C. N., Ahmad, I., & Tu, W.-C. (2021). Ovitrap surveillance of dengue vector mosquitoes in Bandung City, West Java Province, Indonesia. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 15(10), e0009896. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0009896>

- Schoch-Spana, M., Watson, C., Ravi, S., Meyer, D., Pechta, L. E., Rose, D. A., Lubell, K. M., Podgornik, M. N., & Sell, T. K. (2020). Vector control in Zika-affected communities: Local views on community engagement and public health ethics during outbreaks. *Preventive Medicine Reports*, 18, 101059. <https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2020.101059>
- Soerachman, R., Marina, R., Anwar, A., Ariati, Y., & Zahra. (2023). Partisipasi wanita dan upaya pencegahan DBD di Puskesmas Payung Sekaki: Studi pemberdayaan masyarakat di Kota Pekanbaru. *ASPIRATOR - Journal of Vector-Borne Diseases Studies*, 14(2), 105–118. <https://doi.org/10.58623/aspirator.v14i2.15>
- Sousa, L., De Mello, R., Cedrim, D., Garcia, A., Missier, P., Uchôa, A., Oliveira, A., & Romanovsky, A. (2018). VazaDengue: An information system for preventing and combating mosquito-borne diseases with social networks. *Information Systems*, 75, 26–42. <https://doi.org/10.1016/j.is.2018.02.003>
- Sulistiyawati, S., Dwi Astuti, F., Rahmah Umniyati, S., Tunggul Satoto, T., Lazuardi, L., Nilsson, M., Rocklov, J., Andersson, C., & Holmner, Å. (2019). Dengue vector control through community empowerment: Lessons learned from a community-based study in Yogyakarta, Indonesia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6), 1013. <https://doi.org/10.3390/ijerph16061013>
- Suriami, Ishak, H., Syafar, M., Mallongi, A., & Rauf, A. U. (2020). Effectiveness of mosquito nests eradication abatezation for elimination of *Aedes aegypti*. *Enfermería Clínica*, 30, 473–476. <https://doi.org/10.1016/j.enfcli.2020.03.010>
- Susanto, Y. K., Rudyanto, A., & Rahayuningsih, D. A. (2022). Redefining the concept of local wisdom-based CSR and its practice. *Sustainability*, 14(19), 12069. <https://doi.org/10.3390/su141912069>
- Sutriyawan, A., Darmawan, W., Akbar, H., Habibi, J., & Fibrianti, F. (2022). Faktor yang mempengaruhi pemberantasan sarang nyamuk (PSN) melalui 3M plus dalam upaya pencegahan demam berdarah dengue (DBD). *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*, 11(01), 23–32. <https://doi.org/10.33221/jikm.v11i01.936>

- Suwantika, A. A., Kautsar, A. P., Supadmi, W., Zakiyah, N., Abdulah, R., Ali, M., & Postma, M. J. (2020). Cost-effectiveness of dengue vaccination in Indonesia: Considering integrated programs with wolbachia-infected mosquitos and health education. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(12), 4217. <https://doi.org/10.3390/ijerph17124217>
- Swain, S., Pati, S., & Pati, S. (2019). 'Health promoting school' model in prevention of vector-borne diseases in Odisha: A pilot intervention. *Journal of Tropical Pediatrics*, 65(5), 463–473. <https://doi.org/10.1093/tropej/fmy077>
- Tshering, U., Pooma, K., Meksaengsee, K., & Aiemsa-ard, N. (2015). The effects of a behavioral change program in reducing the house index of mosquito larvae in households in Phetcabun province, Thailand. *Bhutan Health Journal*, 1(1), 15–22. <https://doi.org/10.47811/bhj.04>
- Vishnuprasad, R., Dutt, V., Tandia, D., & Kotwal, A. (2022). Effectiveness of structured behavior change communication methods in control of mosquito-borne diseases: A quasi-experimental study. *Medical Journal Armed Forces India*, S037712372200199X. <https://doi.org/10.1016/j.mjafi.2022.10.012>
- Vitaningtyas, Y., Agustiningrum, M. Y. D., Shella, S., Prisilia, C., & Putri, C. E. T. (2019). Pengolahan serai sebagai tanaman obat pengusir nyamuk bersama anak-anak di pemukiman pemulung blok o Yogyakarta. *ABDIMAS ALTRUIS: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2(1), 14–23. <https://doi.org/10.24071/aa.v2i1.2124>
- Wahdini, S., & Sari, I. P. (2023). Upaya pencegahan penyakit parasit di sekolah asrama melalui edukasi secara virtual. *Aksiologi: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 7(3). <https://doi.org/10.30651/aks.v7i3.9744>
- WHO. (2018). A filariasis-free me: A campaign on the prevention and control of filariasis for health promoting schools. *World Health Organization. Regional Office for the Western Pacific, Ed.* <https://www.who.int/publications/i/item/urbani-school-health-kit-filariasis>
- WHO. (2020). *Multisectoral approach to the prevention and control of vector-borne diseases: A conceptual framework*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331861/9789240004788-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Wilson, A. L., Courtenay, O., Kelly-Hope, L. A., Scott, T. W., Takken, W., Torr, S. J., & Lindsay, S. W. (2020). The importance of vector control for the control and elimination of vector-borne diseases. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 14(1), e0007831. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007831>
- WMP. (2024). World mosquito program di Indonesia. <https://www.worldmosquitoprogram.org/wmp-indonesia>
- Wu, Q., Guo, C., Li, X., Yi, B.-Y., Li, Q.-L., Guo, Z.-M., & Lu, J.-H. (2023). A meta-transcriptomic study of mosquito virome and blood feeding patterns at the human-animal-environment interface in Guangdong Province, China. *One Health*, 16, 100493. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2023.100493>
- Zamzuri, M. A. I. A., Jamhari, M. N., Ghazi, H. F., Hasani, M. H. M., Ali, N. K. M., Rashid, M. F. A., Hod, R., Dapari, R., & Hassan, M. R. (2021). A unique double tango: Construct validation and reliability analysis of risk perception, attitude and practice (RPAP) questionnaire on dengue infection. *PLOS ONE*, 16(8), e0256636. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256636>

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB 7

Epilog

Aditya Lia Ramadona

Bunga rampai menyajikan pandangan yang cukup mendalam tentang berbagai dimensi kajian penyebaran penyakit yang ditularkan melalui vektor. Buku ini mencakup beragam topik, mulai dari strategi pengendalian penyakit yang ditularkan oleh nyamuk, teknologi pendukung dan inovasi terkini, hingga edukasi dan partisipasi aktif masyarakat dalam upaya pencegahan penyebaran penyakit tular vektor. Luasnya cakupan materi memberikan kesempatan bagi pembaca untuk memahami isu dari berbagai perspektif. Hal tersebut membantu pembaca mendapatkan pemahaman yang lebih lengkap dan holistik tentang topik yang dibahas dalam bunga rampai.

Bagi pembaca yang baru pertama kali mempelajari atau mendalami topik penyebaran penyakit yang ditularkan melalui vektor, bunga rampai ini dapat menjadi referensi awal dan pengantar yang sangat

A. L. Ramadona

Universitas Gadjah Mada, *e-mail*: alramadona@ugm.ac.id

©2024 Editor & Penulis

Ramadona, A. L. (2024). Epilog. Dalam S. P. M. Wijayanti & A. L. Ramadona (Ed.), *Dinamika penyakit tular vektor nyamuk di Indonesia* (125–163). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.1589.c1277 E-ISBN: 978-602-6303-59-2

Buku ini tidak diperjualbelikan.

bermanfaat. Mereka dapat memperoleh berbagai informasi dan sudut pandang dari satu sumber bacaan sehingga dapat mulai menganalisis dan mengevaluasi informasi tersebut secara kritis. Dengan demikian, pembaca dapat membangun fondasi pemahaman yang kokoh sebelum mendalami lebih lanjut tentang topik yang menarik minat mereka.

A. Selayang Pandang Bunga Rampai

Artikel pertama yang ditulis oleh Setiyaningsih et al. berjudul “Pengendalian Penyakit Tular Vektor Nyamuk Terkini”, menjelaskan pentingnya pendekatan pengendalian vektor yang spesifik dan berbasis lokal, dengan mempertimbangkan bionomik, yaitu kebiasaan dan perilaku vektor. Artikel ini menyoroti pentingnya integrasi berbagai metode untuk mencapai pengendalian vektor yang optimal.

Dalam artikel Setiyaningsih et al., pengendalian vektor didefinisikan sebagai proses yang melibatkan berbagai metode. Metode-metode ini dapat mencakup pengendalian fisik, kimiawi, biologis, teknik serangga mandul (TSM), pengelolaan lingkungan, perlindungan diri, dan pemberdayaan masyarakat. Setiap metode memiliki keunggulan dan keterbatasan tersendiri. Misalnya, pengendalian secara kimiawi dapat efektif dalam menurunkan populasi vektor, tetapi dapat menyebabkan resistansi. Di sisi lain, pengendalian secara fisik, biologi, dan TSM tidak menyebabkan resistansi, tetapi kurang efektif dalam kondisi ketika sedang terjadi peningkatan kasus penyakit tular vektor, karena membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menurunkan populasi vektor. Setiyaningsih et al. juga menekankan bahwa strategi pengendalian vektor harus disesuaikan dengan kondisi lokal, jenis vektor, serta perilaku masyarakat setempat. Mereka menyarankan bahwa dalam implementasi di lapangan, sebaiknya tidak hanya menggunakan satu jenis pengendalian saja. Sebaliknya, berbagai jenis pengendalian harus digabungkan secara komprehensif dan terintegrasi untuk mencapai hasil yang lebih optimal. Dengan kata lain, tidak ada satu jenis pengendalian vektor yang paling efektif; semuanya bergantung pada konteks dan situasi spesifik.

Dalam artikel berjudul “Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) dalam Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Tular Vektor Nyamuk”, Sunaryo dan Mujiyanto menjelaskan berbagai teknik dalam pengelolaan dan pengolahan data menggunakan SIG. Mereka menunjukkan bagaimana SIG dapat digunakan untuk mengumpulkan dan mengatur data geografis, yang kemudian dapat digunakan untuk memvisualisasikan, menganalisis, dan menginterpretasi data epidemiologi penyakit tular vektor nyamuk. Tujuannya adalah untuk mengungkapkan tren, ketergantungan, dan hubungan antara faktor-faktor risiko dengan penyakit tular vektor. Sunaryo dan Mujiyanto juga menekankan bahwa SIG dapat membantu dalam mengintegrasikan berbagai data lingkungan, seperti data kepadatan penduduk, pemanfaatan lahan, dan hidrologi. Data ini penting dalam mempelajari pola penyebaran penyakit tular vektor. Pemodelan SIG berdasarkan data lingkungan dapat membantu mengidentifikasi wilayah dengan risiko tinggi. Sebagai contoh, integrasi peta persebaran populasi dengan peta risiko demam berdarah dapat digunakan untuk mengestimasi jumlah populasi yang berisiko. Informasi ini sangat penting bagi pemegang program kesehatan untuk mengalokasikan sumber daya berdasarkan jumlah populasi yang berisiko. Hasil analisis ini dapat mendukung pelayanan kesehatan, memungkinkan penentuan jenis pelayanan yang dibutuhkan masyarakat, dan mengidentifikasi kecukupan fasilitas pelayanan kesehatan.

Dwi Sarwani Sri Rejeki melanjutkan tema SIG dalam artikelnya, “Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis dalam Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Malaria dan Demam Berdarah Dengue”. Artikel ini memberikan gambaran tentang bagaimana SIG dapat dimanfaatkan dalam merancang kebijakan pengendalian penyakit yang ditularkan oleh vektor, khususnya malaria dan demam berdarah dengue, dengan mempertimbangkan berbagai faktor lingkungan. Dalam artikelnya, Dwi Sarwani Sri Rejeki memperkenalkan beberapa perangkat lunak yang dapat digunakan untuk analisis spasial, terutama SaTScan dan GeoDa. Kedua perangkat lunak ini memberikan kemampuan untuk melakukan berbagai jenis analisis spasial, seperti *overlay*, *buffering*,

dan *clustering*. Selain itu, artikel ini juga memperkenalkan metode interpolasi, yang digunakan untuk mengestimasi nilai di wilayah yang tidak diketahui sehingga memungkinkan perkiraan sebaran nilai di seluruh wilayah. Metode-metode ini sangat berguna dalam memahami pola penyebaran penyakit dan merumuskan strategi pengendalian yang efektif. Misalnya, dalam menentukan target intervensi berdasarkan tren transmisi lokal.

Tito dan Arianti dalam artikelnya, “Implikasi Gelombang Ultrasonik Jangkrik bagi Nyamuk Tular Vektor”, memperkenalkan inovasi dalam upaya pengendalian vektor. Mereka berargumen bahwa penggunaan jangkrik untuk mengendalikan vektor nyamuk dapat memberikan manfaat bagi masyarakat. Metode pengendalian vektor dengan penggunaan jangkrik ini dapat menjadi solusi potensial yang ramah lingkungan untuk masa depan. Mereka berupaya menemukan solusi dari penggunaan bahan kimia untuk pengendalian vektor. Pemakaian zat kimia, misalnya insektisida, dalam jumlah yang berlebihan dapat merugikan kesehatan, berpotensi menyebabkan keracunan, dan dalam beberapa kasus, bisa menyebabkan kematian. Inovasi yang ditawarkan oleh Tito dan Arianti adalah pemanfaatan gelombang ultrasonik yang dihasilkan oleh jangkrik (*Acheta domesticus*). Jangkrik merupakan serangga yang menghasilkan gelombang ultrasonik untuk berkomunikasi dengan sesama jangkrik. Hasil eksperimen mereka menunjukkan adanya penurunan gigitan nyamuk terhadap responden setelah pengaplikasian gelombang ultrasonik yang dihasilkan oleh jangkrik. Pemanfaatan gelombang ultrasonik sebagai kontrol nyamuk potensial digunakan untuk mengendalikan vektor nyamuk di semua siklus hidupnya. Menurut Tito dan Arianti, beberapa keuntungan dari penggunaan gelombang ultrasonik, antara lain tidak menimbulkan pencemaran lingkungan, tidak menghasilkan suara yang dapat mengganggu pendengaran manusia karena frekuensinya melebihi jangkauan pendengaran normal, dan tidak mengganggu hewan non-vektor. Oleh karena itu, metode ini menawarkan solusi potensial yang ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk pengendalian vektor nyamuk di masa depan.

Artikel terakhir pada bunga rampai yang ditulis oleh Rauf et al. berjudul “Peran dan Edukasi Masyarakat dalam Mencegah Penyakit yang Ditularkan Nyamuk”. Artikel ini menekankan pentingnya peran masyarakat dalam mencegah penyakit yang ditularkan oleh vektor nyamuk. Rauf et al. menjelaskan bagaimana keterlibatan masyarakat dalam upaya pemberantasan sarang nyamuk dan pencegahan penyakit yang disebabkan oleh vektor nyamuk dapat memiliki dampak yang signifikan. Mereka menekankan bahwa masyarakat perlu mengetahui mekanisme pelaporan sarang nyamuk dan kasus penyakit yang diduga disebabkan oleh vektor nyamuk sehingga tindakan penanggulangan dapat dilakukan dengan cepat dan tepat. Partisipasi aktif masyarakat ini dapat menciptakan lingkungan yang lebih sehat dan pengendalian nyamuk yang efektif. Rauf et al. menunjukkan bahwa individu yang memiliki tingkat pendidikan yang lebih tinggi cenderung lebih proaktif dalam melindungi diri dan lingkungan mereka dari vektor nyamuk. Oleh karena itu, peningkatan pengetahuan menjadi kunci dalam mengurangi risiko penularan. Artikel ini memberikan contoh berbagai bentuk kegiatan edukasi yang dapat dilakukan. Misalnya, memberikan simulasi (melalui video, *virtual reality*, dan *augmented reality*) dapat memberikan pengalaman yang lebih nyata dan detail tentang penyakit yang ditularkan melalui vektor. Selain itu, permainan tradisional, seperti engklek, ular tangga, dan monopoli tetap dapat digunakan sebagai media edukasi. Rauf et al. juga menekankan pentingnya diseminasi *best-practices* dalam upaya menyebarluaskan kisah sukses dari berbagai alternatif metode intervensi atau pengendalian vektor yang efektif, teruji secara ilmiah, dan berhasil diterapkan pada berbagai *setting*.

B. Dari Refleksi ke Visi: Pandangan Menuju Masa Depan

1. Refleksi

Dalam menghadapi tantangan penyebaran penyakit melalui vektor, berangkat dari artikel-artikel yang disajikan dalam bunga rampai, ada beberapa hal penting yang perlu kita perhatikan.

- a. Kita perlu terus mengembangkan dan meningkatkan metode pengendalian vektor yang saat ini tersedia untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi pengendalian. Hal ini dapat melibatkan beberapa strategi utama.
- 1) Pemahaman biologis: pemahaman menyeluruh tentang biologi spesies vektor lokal adalah aspek yang fundamental. Pengetahuan ini memungkinkan tindakan pengendalian yang terfokus pada target tertentu. Misalnya, mengetahui kebiasaan berkembang biak, umur, dan pola makan vektor dapat membantu dalam merancang strategi pengendalian yang lebih efektif.
 - 2) Metode pengendalian vektor terpadu: menggabungkan beberapa metode pengendalian dapat meningkatkan efektivitas secara keseluruhan. Misalnya, mengintegrasikan pengendalian kimia dengan pengendalian biologis, seperti penggunaan predator alami atau patogen, dapat memberikan pendekatan yang lebih komprehensif untuk mengurangi populasi vektor.
 - 3) Solusi inovatif: mengeksplorasi solusi baru dan inovatif, seperti penggunaan gelombang ultrasonik dari jangkrik yang diuraikan dalam bunga rampai, dapat menawarkan alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk metode pengendalian vektor.
- b. Kita perlu memanfaatkan teknologi pendukung, seperti SIG, untuk membantu merumuskan kebijakan pengendalian penyakit yang ditularkan melalui vektor. Memanfaatkan teknologi pendukung dapat secara potensial meningkatkan peluang keberhasilan dari berbagai kebijakan yang dirumuskan untuk mengendalikan penyakit yang ditularkan melalui vektor, khususnya pada aspek sebagai berikut.
- 1) Pemetaan dan pengawasan: SIG dapat memvisualisasikan distribusi spasial populasi vektor dan kejadian penyakit. Ini membantu mengidentifikasi *hotspot* dan area berisiko,

memungkinkan intervensi yang ditargetkan. Jika pengumpulan dan pemetaan data dilakukan secara *real-time*, maka dapat meningkatkan pengawasan wabah penyakit dan memungkinkan tanggapan yang lebih responsif dan cepat.

- 2) Penilaian risiko: SIG dapat menganalisis faktor lingkungan (misalnya, suhu, curah hujan, penggunaan lahan) yang memengaruhi habitat vektor dan tempat berkembang biak. Melalui penilaian faktor-faktor ini, pembuat kebijakan dapat memprediksi kecenderungan wabah di masa depan dan mengalokasikan sumber daya secara lebih efisien ke daerah-daerah berisiko tinggi.
- 3) Alokasi sumber daya: SIG dapat membantu penempatan sumber daya secara lebih strategis, seperti persediaan logistik dan distribusi personel. Ini memastikan bahwa sumber daya dikerahkan di tempat yang paling membutuhkan, sehingga dapat mengoptimalkan manfaat dan memitigasi risiko dari tindakan pengendalian.
- 4) Perencanaan kesehatan masyarakat: SIG dapat mendukung perencanaan dan pelaksanaan kampanye kesehatan masyarakat dengan mengidentifikasi populasi rentan dan daerah dengan akses terbatas ke pelayanan kesehatan. Ini memfasilitasi desain program pendidikan yang disesuaikan dengan karakteristik komunitas tertentu sehingga dapat meningkatkan efektivitasnya.
- 5) Pemantauan dan evaluasi: SIG dapat melacak efektivitas intervensi pengendalian vektor dari waktu ke waktu, sehingga dapat menyediakan informasi sebagai landasan untuk perbaikan berkelanjutan. Kebijakan dapat disesuaikan berdasarkan apa yang berhasil atau gagal dalam konteks yang berbeda dengan melakukan *overlay* serta membandingkan data sebelum dan sesudah intervensi.
- 6) Integrasi dengan teknologi lain: menggabungkan SIG dengan teknologi lain, seperti data penginderaan jauh dan penggunaan seluler (atau aplikasi *Internet of Things* lainnya)

untuk mengestimasi pola mobilisasi penduduk, dapat memberikan wawasan komprehensif tentang dinamika penyakit yang ditularkan melalui vektor. Integrasi ini mendukung pemodelan dan peramalan penyebaran penyakit yang lebih akurat.

- 7) Kolaborasi pemangku kepentingan: SIG dapat memfasilitasi kolaborasi di antara berbagai pemangku kepentingan, tidak terbatas pada lembaga pemerintah, LSM, dan organisasi masyarakat, yakni dengan menyediakan platform bersama untuk berbagi informasi. Pendekatan kolaboratif ini memastikan bahwa semua pihak memiliki kerangka kerja yang sama untuk mencapai tujuan terpadu dalam pengendalian vektor.
- c. Masyarakat perlu terus diedukasi dan dilibatkan dalam pengendalian vektor. Masyarakat terdidik memainkan peran penting dalam pencegahan penyakit. Dengan memahami biologi dan perilaku spesies vektor lokal, anggota masyarakat dapat mengambil tindakan terukur dan efektif untuk mengurangi tempat berkembang biak dan meminimalkan kontak vektor-manusia. Keterlibatan dalam inisiatif pengendalian vektor lokal dan kepatuhan terhadap tindakan pencegahan dapat secara signifikan meningkatkan efektivitas upaya pengendalian. Edukasi yang dilakukan secara terus-menerus memastikan bahwa masyarakat tetap memperoleh informasi tentang ancaman dan strategi pengendalian terkini, sehingga dapat mendorong pendekatan proaktif untuk pencegahan penyakit yang ditularkan melalui vektor.

Sebagaimana yang telah diuraikan oleh Rauf et al. di Bab 6, masyarakat berpendidikan lebih mungkin untuk mengadopsi dan mempertahankan praktik pencegahan, seperti menghilangkan genangan air tempat nyamuk berkembang biak, menggunakan kelambu atau bahan anti nyamuk, dan bekerja sama dengan petugas kesehatan. Keterlibatan proaktif ini tidak hanya mengurangi kejadian penyakit

tetapi juga membangun ketahanan jangka panjang. Intinya, edukasi yang berkelanjutan memastikan bahwa masyarakat bukan hanya penerima pasif dari tindakan pengendalian tetapi juga peserta aktif dalam memerangi penyakit yang ditularkan melalui vektor.

2. Visi Inovasi

Pengendalian vektor merupakan elemen krusial dalam bidang kesehatan masyarakat, khususnya di wilayah endemi. Pengendalian vektor membantu melindungi masyarakat dari risiko kesehatan yang ditimbulkan oleh vektor, di mana populasinya mungkin lebih tinggi dan risiko penularan penyakit juga lebih besar. Dengan mencegah penyebaran penyakit melalui pengendalian vektor, sumber daya kesehatan dapat digunakan lebih efisien. Misalnya, daripada menghabiskan sumber daya untuk merawat orang yang sakit, sumber daya tersebut dapat digunakan untuk pencegahan dan peningkatan kesehatan masyarakat secara keseluruhan.

Penyakit yang ditularkan oleh vektor dapat memiliki dampak ekonomi yang signifikan, tidak hanya untuk biaya perawatan kesehatan, tetapi juga kehilangan produktivitas. Pengendalian vektor dapat membantu mengurangi beban ekonomi ini. Oleh karena itu, sangat mendesak untuk mencari solusi yang inovatif dan efektif dalam pengendalian vektor, dengan penekanan pada metode yang ramah lingkungan dan hemat sumber daya. Hal ini dikarenakan metode konvensional yang masih digunakan, sampai saat ini belum dapat menyelesaikan persoalan pengendalian vektor secara tuntas, selain metode tersebut berpotensi membahayakan manusia dan lingkungan. Bahkan, beberapa kasus, membutuhkan sumber daya dan biaya operasional yang relatif tinggi.

Seperti yang diuraikan oleh Setiyaningsih et al. serta Tito dan Arianti di dalam artikelnya, metode konvensional, seperti penggunaan pestisida, sering kali datang dengan dampak dan kelemahan yang signifikan, termasuk kerusakan lingkungan, pengembangan resistansi pada populasi nyamuk, termasuk merugikan spesies non-target. Oleh karena itu, perlu senantiasa mengembangkan inovasi pendekatan baru

yang lebih efektif, efisien, berkelanjutan, serta memastikan bahwa metode pengendalian vektor dapat diterima secara budaya dan bahwa individu termotivasi untuk berpartisipasi dalam mempertahankan upaya ini. Namun, inovasi tersebut perlu dibarengi dengan berbagai uji secara menyeluruh untuk memastikan bahwa mereka efektif dan tidak memiliki konsekuensi negatif yang tidak diinginkan.

Salah satu pendekatan inovatif tersebut diuraikan oleh Tito dan Arianti, yang mengeksplorasi penggunaan jangkrik sebagai sarana untuk mengusir vektor nyamuk. Metode ini berpotensi menjadi pilihan yang ramah lingkungan dan hemat biaya. Jangkrik adalah bagian alami dari ekosistem dan menggunakannya untuk pengendalian vektor dapat meminimalkan dampak terhadap lingkungan dibandingkan dengan metode kimia. Selain itu, jika metode ini terbukti efektif, secara signifikan dapat mengurangi sumber daya yang dibutuhkan untuk pengendalian vektor, baik dari segi anggaran maupun personel. Namun, sementara pendekatan ini terkesan menjanjikan, penting untuk dicatat bahwa *body of research* saat ini yang memberikan dukungan untuk temuan tersebut masih sangat lemah dan terbatas. Ini berarti bahwa sementara hasil awal mungkin menggembirakan, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengonfirmasi efektivitas metode ini dan untuk memahami potensi dampak jangka panjang. Oleh karena itu, perlu dilakukan uji coba skala besar dengan desain penelitian yang lebih ketat untuk mendukung temuan Tito dan Arianti. Uji coba ini harus dirancang untuk menguji efektivitas penggunaan jangkrik dalam pengaturan dan kondisi yang berbeda, serta untuk memantau potensi efek samping atau dampak pada ekosistem setempat.

Hanya dengan bukti ilmiah yang kuat kita dapat memvalidasi pendekatan inovatif untuk pengendalian vektor sebelum menerapkannya dalam skala yang lebih luas. Proses validasi yang ketat ini memastikan bahwa metode baru tersebut telah terbukti efektif dan aman. Melakukan penelitian menyeluruh dan uji coba skala besar sangat penting untuk mengumpulkan data yang diperlukan untuk mendukung strategi baru. Selain itu, komunikasi yang transparan dari

temuan, kampanye pendidikan, serta kolaborasi dengan masyarakat lokal dan pemangku kepentingan membantu membangun kepercayaan dan memfasilitasi keberhasilan adopsi suatu metode yang ditawarkan. Dengan memprioritaskan solusi yang didukung secara ilmiah, kita dapat mengembangkan strategi inovatif, ramah lingkungan, dan hemat biaya untuk memerangi penyakit yang ditularkan melalui vektor secara efektif.

3. Visi Edukasi

Ketika inovasi atau teknologi baru diperkenalkan sebagai metode pengendalian vektor, misalnya nyamuk *Aedes aegypti* yang mengandung bakteri *wolbachia*, terkadang dibarengi dengan kemunculan dan penyebaran informasi yang salah (misinformasi) dan menyesatkan (disinformasi). Misinformasi dan disinformasi ini dapat berimbas menciptakan keraguan dan ketidakpercayaan terhadap intervensi kesehatan yang telah terbukti efektif (Mardatila, 2024). “Kegaduhan informasi” ini juga dapat mengakibatkan fakta yang akurat dan penting menjadi tenggelam dalam banjir informasi yang salah atau menyesatkan. Selanjutnya, hal tersebut dapat merusak upaya edukasi kesehatan yang sedang dilakukan dan mencegah masyarakat untuk memahami isu kesehatan dengan benar sehingga membuat masyarakat sulit untuk membuat keputusan yang tepat.

Edukasi yang berkelanjutan sangat penting karena dapat memastikan bahwa masyarakat tetap memperoleh informasi yang akurat dan mengembangkan tingkat literasi yang membantu mereka membangun resiliensi terhadap misinformasi dan disinformasi. Edukasi yang berkelanjutan akan menumbuhkan tingkat literasi yang memungkinkan individu untuk membedakan informasi yang kredibel dari informasi yang salah, yang dapat tersebar luas (viral) ketika muncul suatu isu atau permasalahan kesehatan.

Untuk mengatasi penyebaran informasi yang salah dan menyesatkan, sangat penting untuk mendidik masyarakat tentang kebutuhan mencari informasi dari sumber yang dapat dipercaya dan memiliki kredibilitas. Ini memerlukan komunikasi yang jelas dan transparan, serta kerja sama dan partisipasi aktif dari masyarakat, pendidik

dan promotor kesehatan, serta pemangku kepentingan. Tujuannya adalah untuk membangun rasa saling percaya dan memastikan bahwa penerapan dari inovasi teknik pengendalian vektor yang baru, telah atau akan dilakukan sesuai dengan prosedur dan standar ilmiah yang teruji.

Transparansi tentang manfaat dan potensi risiko juga dapat membantu membangun kepercayaan. Perlu senantiasa disebarluaskan pembaruan rutin tentang kemajuan dan hasil upaya pengendalian vektor. Sebagai contoh, ini dapat mencakup diseminasi informasi dari pemetaan menggunakan SIG yang menunjukkan pengurangan insiden penyakit atau kisah sukses dari daerah yang menerapkan metode pengendalian inovatif. Secara konsisten perlu berbagi informasi keberhasilan maupun kegagalan dalam upaya pengendalian vektor. Komunikasi yang jujur membantu dalam mengelola ekspektasi dan menjaga kredibilitas. Pendidikan mengenai penyakit yang ditularkan melalui vektor sebaiknya diintegrasikan ke dalam kurikulum sekolah. Hal ini bertujuan untuk menanamkan kesadaran dini dan mendorong perilaku proaktif di antara generasi muda. Selain itu, peningkatan pemanfaatan platform media sangat diperlukan untuk menyebarkan informasi yang akurat, serta menangkal misinformasi dan disinformasi yang berkaitan dengan penyakit yang ditularkan melalui vektor dan metode pengendaliannya.

Pelibatan pemimpin lokal dan *influencer* juga penting, karena mereka dapat mengadvokasi dan mendukung inisiatif pengendalian vektor, serta membantu membangun kepercayaan dan partisipasi masyarakat. Selain itu, perlu dibangun saluran untuk umpan balik masyarakat sebagai sarana untuk mengatasi kesalahpahaman dan memberikan saran mengenai upaya pengendalian vektor. Pendekatan partisipatif ini dapat meningkatkan dukungan dan responsivitas masyarakat terhadap upaya pengendalian vektor.

4. Rekomendasi

Dalam era mobilitas masyarakat yang makin tinggi dan terhubung, ditandai dengan jaringan transportasi yang makin terintegrasi; dan

kualitas lingkungan global yang makin rentan, ditandai dengan terjadinya perubahan iklim; menjadikan tantangan dalam mengendalikan penyakit yang ditularkan melalui vektor makin kompleks. Penyakit-penyakit ini tidak hanya menjadi ancaman bagi kesehatan masyarakat, tetapi juga berdampak signifikan secara sosial ekonomi dan dapat menyebar luas dengan sangat cepat. Berikut adalah beberapa rekomendasi berdasarkan sintesis berbagai aspek penting dalam pengendalian penyakit, sebagaimana diuraikan dalam artikel-artikel yang termuat dalam bunga rampai ini. Rekomendasi-rekomendasi ini mencerminkan pemahaman tentang tantangan dan peluang yang ada, serta menunjukkan arah ke depan dalam upaya untuk mencegah dan mengendalikan penyakit yang ditularkan melalui vektor.

- 1) Meningkatkan pemahaman biologis: berinvestasi dalam penelitian untuk memperdalam pemahaman kita tentang biologi spesies vektor lokal. Pengetahuan ini dapat menginformasikan desain strategi pengendalian yang lebih efektif.
- 2) Mengembangkan metode pengendalian secara komprehensif dan terintegrasi: mendorong pengembangan dan penggunaan metode pengendalian terpadu yang menggabungkan strategi fisik, kimia, biologi, dan lainnya. Hal ini dapat mengarah pada pendekatan yang lebih komprehensif dan efektif untuk mengurangi populasi vektor.
- 3) Memanfaatkan kemajuan teknologi: memanfaatkan sepenuhnya teknologi terkini, seperti SIG dalam upaya pengendalian vektor. SIG dapat membantu dalam memetakan *hotspot* penyakit, melacak populasi vektor, dan memprediksi wabah sehingga memungkinkan intervensi yang lebih tepat waktu dan sasaran.
- 4) Mempromosikan solusi inovatif: mendukung eksplorasi dan pengujian solusi inovatif, seperti penggunaan gelombang ultrasonik dari jangkrik. Jika kemudian terbukti efektif, alternatif yang terkesan ramah lingkungan ini dapat merevolusi pengendalian vektor.
- 5) Memperkuat pendidikan dan keterlibatan masyarakat: menerapkan program pendidikan masyarakat yang kuat untuk

meningkatkan pemahaman masyarakat tentang penyakit yang ditularkan melalui vektor dan pencegahannya. Mendorong keterlibatan masyarakat dalam upaya pengendalian vektor, karena masyarakat yang terinformasi dan proaktif dapat secara signifikan meningkatkan efektivitas inisiatif pengendalian vektor.

- 6) Mengatasi misinformasi dan disinformasi: mengembangkan strategi untuk mengatasi misinformasi dan disinformasi tentang metode pengendalian vektor. Ini bisa melibatkan komunikasi yang transparan, kampanye dan pendidikan, serta kolaborasi-pelibatan masyarakat lokal, peneliti-promotor kesehatan, *influencer*, dan pemangku kepentingan.
- 7) Melakukan penelitian dan uji coba yang ketat: memastikan bahwa inovasi metode pengendalian vektor telah diuji secara menyeluruh untuk kemanjuran dan keamanan sebelum implementasi yang lebih luas. Ini harus melibatkan penelitian, baik secara multidisiplin maupun interdisiplin, yang ketat dan uji coba skala besar.
- 8) Memprioritaskan alternatif ramah lingkungan: mengingat potensi dampak lingkungan dari metode pengendalian vektor konvensional maka perlu memprioritaskan pengembangan dan penggunaan metode alternatif yang lebih aman dan ramah lingkungan. Ini tidak hanya melestarikan keanekaragaman hayati tetapi juga memastikan keberlanjutan upaya pengendalian vektor.
- 9) Memfasilitasi kolaborasi pemangku kepentingan: mendorong kolaborasi di antara berbagai pemangku kepentingan, tidak terbatas pada lembaga pemerintah, LSM, dan organisasi masyarakat. Pendekatan terpadu dapat meningkatkan efektivitas upaya pengendalian vektor dan memastikan bahwa semua pihak bekerja menuju tujuan bersama.
- 10) Berinvestasi dalam edukasi secara berkesinambungan: menyebarluaskan peran penting pendidikan dalam pengendalian vektor. Pendidikan yang dilakukan secara berkelanjutan memastikan bahwa masyarakat tetap mendapat informasi yang akurat, mendorong pendekatan proaktif untuk pencegahan penyakit

yang ditularkan melalui vektor, dan membantu memerangi misinformasi yang salah dan disinformasi.

5. Penutup

Dalam menghadapi tantangan penyebaran penyakit melalui vektor, kita perlu menyadari bahwa sampai saat ini tidak ada satu solusi yang cocok untuk semua situasi. Setiap metode pengendalian vektor memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri, dan efektivitasnya sangat bergantung pada konteks dan situasi spesifik. Oleh karena itu, pendekatan yang paling efektif adalah yang memadukan berbagai metode pengendalian secara komprehensif dan terintegrasi, disesuaikan dengan kondisi lokal, jenis vektor, serta perilaku dan kesiapan pemerintah dan masyarakat setempat. Selain itu, pendekatan ini harus didukung oleh pengetahuan yang mendalam tentang biologi dan perilaku spesies vektor, serta pemahaman tentang dinamika penyebaran penyakit dalam konteks geografis dan sosial tertentu.

Pendidikan dan keterlibatan masyarakat juga merupakan komponen penting dalam upaya pengendalian vektor. Masyarakat yang terinformasi dan proaktif dapat memainkan peran penting dalam mencegah penyebaran penyakit dan meminimalkan dampaknya. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya secara berkesinambungan dan terus-menerus untuk meningkatkan pengetahuan masyarakat tentang penyakit yang ditularkan melalui vektor dan metode pengendaliannya, serta untuk mendorong partisipasi aktif mereka dalam upaya pengendalian. Selain itu, perlu dilakukan upaya untuk mengatasi misinformasi dan disinformasi yang dapat menjadi hambatan untuk adopsi metode pengendalian vektor yang sudah terbukti secara ilmiah dan teruji di lapangan.

Bunga rampai ini mengingatkan kita bahwa pengendalian vektor adalah persoalan yang kompleks dan membutuhkan upaya kolaboratif. Seiring kita bergerak maju, penting untuk terus berinvestasi dalam penelitian, pengembangan inovasi dan teknologi, serta pendidikan. Tujuannya adalah untuk mengembangkan dan menerapkan strategi pengendalian vektor yang efektif, berkelanjutan, dan dapat

mengurangi beban penyakit yang ditularkan melalui vektor, sekaligus meningkatkan status kesehatan masyarakat.

Buku ini secara keseluruhan menawarkan wawasan berharga tentang berbagai aspek penyebaran penyakit yang ditularkan melalui vektor dan upaya pengendaliannya. Dengan memahami berbagai perspektif dan pendekatan yang disajikan, kita dapat lebih siap menghadapi tantangan penyebaran penyakit melalui vektor dan berkontribusi dalam upaya global untuk mencegah dan mengendalikan penyakit tersebut. Buku ini diharapkan dapat menjadi sumber inspirasi dan panduan bagi peneliti, praktisi kesehatan, pembuat kebijakan, dan semua pihak yang berkepentingan dalam upaya pengendalian penyakit yang ditularkan melalui vektor.

Referensi

Mardatila, A. (2024, 21 Maret). Kendala di balik wolbachia: Penerapan teknologi baru wolbachia untuk mengatasi DBD dihadang penolakan, hoaks, dan teori konspirasi. *detikX*. <https://news.detik.com/x/detail/spotlight/20240321/Kendala-di-Balik-Wolbachia/>

Daftar Singkatan

3M plus	: Menguras, Mengubur, dan Menutup Plus
3M	: Menguras, Menutup, dan Mengubur
4M-Plus	: Menguras, Mengubur, Menutup, dan Memantau
ABJ	: Angka Bebas Jentik
ACT	: <i>Artemisinin Combination Therapy</i>
ANC	: <i>Antenatal Care</i>
API	: <i>Annual Parasite Incidence</i>
AR	: <i>Augmented Reality</i>
Bappeda	: Badan Perencanaan Pembangunan Daerah
BI	: <i>Breteau Index</i>
CDC	: <i>Center for Diseases Control</i>
CD rom	: <i>Compact Disk Read Only Memory</i>
CHPS	: <i>Community-Based Health Planning and Service</i>

Buku ini tidak diperjualbelikan.

CHVs	: <i>Community Health Volunteers</i>
CI	: <i>Container Index</i>
CPU	: <i>Central Processing Unit</i>
DBD	: <i>Demam Berdarah Dengue</i>
DBMS	: <i>Database Management Systems</i>
DD	: <i>Diferensial Diagnosa</i>
DDT	: <i>Dichloro Diphenyl Trichloroethane</i>
DEM	: <i>Digital Elevation Model</i>
DHO	: <i>District Health Office</i>
DIT	: <i>Diffusion of Innovations Theory</i>
DINKES KAB	: <i>Dinas Kesehatan Kabupaten</i>
DPDR	: <i>Dewan Perwakilan Rakyat Daerah</i>
DSS	: <i>Dengue Syok Syndrome</i>
E-DBD	: <i>Elektronik Demam Berdarah Dengue</i>
ESRI	: <i>Environmental Systems Research Institute</i>
JE	: <i>Japanese Encephalitis</i>
KLB	: <i>Kejadian Luar Biasa</i>
G1R1J	: <i>Gerakan Satu Rumah Satu Jumantik</i>
GIS	: <i>Geographic Information System</i>
GPS	: <i>Global Positioning System</i>
HC	: <i>Health Center</i>
HCI	: <i>High Case Incidence</i>
HI	: <i>House Index</i>
HIR	: <i>High Incidence Rate</i>
ICDC	: <i>Intensified Communicable Diseases Control</i>
IDW	: <i>Inverse Distance Weighted</i>
IGR	: <i>Insect Growth Regulator</i>
IR	: <i>Incidence Rate</i>

IRS	: <i>Indoor Residual Spraying</i>
JUMANTIK	: Juru Pemantau Jentik
Kemenkes RI	: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia
KK	: Kepala Keluarga
KKN	: Kuliah Kerja Nyata
LCI	: <i>Low Case Incidence</i>
LLIN	: <i>Long-Lasting Insecticidal Nets</i>
LSM	: <i>Larval Source Management</i>
MCI	: <i>Moderate Case Incidence</i>
OAM	: Obat Anti Malaria
PAHO	: <i>Pan American Health Organization</i>
PJP	: Pemantauan Jentik Berkala
POKJANAL	: Pertemuan Kelompok Kerja Operasional
Pemda	: Pemerintah Daerah
PSN	: Pemberantasan Sarang Nyamuk
PMD	: Pemberdayaan Masyarakat dan Desa
PKK	: Pemberdayaan Kesejahteraan Keluarga
PKK	: Program Kesejahteraan Keluarga
PPM	: <i>Precede-Proceed Model</i>
PSN	: Pemberantasan Sarang Nyamuk
Puskesmas	: Pusat Kesehatan Masyarakat
Q-GIS	: <i>Quantum Geographic Information System</i>
RS	: Rumah Sakit
RW	: Rukun Wilayah
SD	: Sekolah Dasar
SDM	: Sumber Daya Manusia
SIG	: Sistem Informasi Geografis

SIGAP	: Santun-Inovatif-Giat Bekerja-Amanah-Profesional
SIG	: Sistem Informasi Geografis
TKI	: Tenaga Kerja Indonesia
TSM	: Teknik Serangga Mandul
TTU	: Tempat-Tempat Umum
TTI	: Tempat-Tempat Ibadah
ULV	: <i>Ultra Low Volume</i>
USD	: US Dollar
VDU	: <i>Visual Display Unit</i>
VR	: <i>Virtual Reality</i>
WHO	: <i>World Health Organization</i>
WMP	: <i>World Mosquito Program</i>

Glosarium

adaptif	: mudah menyesuaikan (diri) dengan keadaan
Aedes	: jenis nyamuk yang biasanya ditemui di kawasan tropis
atraktan	: senyawa kimia yang mempunyai daya tarik terhadap serangga
aksesibilitas	: suatu kemudahan dalam mengakses dan menggunakan suatu layanan atau fasilitas oleh semua orang
alga	: tumbuhan berklorofil, berukuran dari beberapa mikron hingga bermeter-meter, hidupnya bergantung pada gerakan air di dalam air tawar atau air laut
amplitudo	: simpangan yang paling jauh dari titik keseimbangan pada getaran

- analisis *buffering* : Analisis spasial yang menghasilkan daerah batasan yang melingkupi objek (wilayah baru). Analisis ini menghasilkan *buffer*/penyangga yang berbentuk lingkaran yang melingkupi suatu objek sebagai pusatnya sehingga bisa mengetahui berapa parameter objek dan luas wilayah.
- analisis *clustering* : Analisis untuk mengidentifikasi kumpulan *cluster* (kelompok) berdasarkan atas kesamaan. Pada analisis ini mengelompokkan objek berdasarkan hubungan antar objek dengan prinsip untuk memaksimalkan kesamaan antar anggota satu kelas dan meminimumkan kesamaan antar kelas/*cluster*.
- analisis *overlay* : kegiatan untuk memperoleh informasi baru dengan menumpuk dua peta atau dua data spasial atau lebih, atau dengan istilah lain menumpang-susunkan dua peta atau lebih untuk memperoleh informasi baru
- analisis *purely spatial scan statistic* : Jendela lingkaran akan ditempatkan berdasarkan hasil analisis menurut lokasi pada peta.
- analisis *purely temporal scan statistic* : Jendela lingkaran ditempatkan berdasarkan analisis dimensi waktu.
- analisis *space-time scan statistic* : Jendela lingkaran akan ditempatkan berdasarkan hasil analisis menurut lokasi dan menurut dimensi waktu.
- analisis spasial : sekumpulan teknik untuk menganalisis data spasial untuk memberikan informasi yang spesifik tentang peristiwa yang sedang terjadi pada suatu area atau wilayah geografi atau perubahan yang terjadi pada waktu tertentu

- anautogenous : Yang tidak timbul dari dalam hal itu sendiri. (nyamuk betina memerlukan darah untuk pematangan telur yang disebut anautogenous development. Nyamuk betina yang tidak memerlukan darah untuk perkembangannya disebut autogenous development).
- Anopheles : hewan yang menyebarkan malaria pada manusia
- Antropofag : Hewan yang menyebarkan malaria pada manusia.
- apoptosis : kematian sel organisme yang sudah terjadwal sebagai bagian dari perkembangan dan pertumbuhan alamnya
- biokontrol : penggunaan organisme hidup, seperti serangga atau patogen, untuk mengendalikan populasi hama
- Bionomik : Ilmu yang mempelajari perilaku makhluk hidup dan faktor-faktor yang memengaruhinya. Contoh bionomik adalah kesenangan nyamuk dalam tempat bertelur, menggigit, istirahat, dan jarak terbang.
- Chemosterilan : zat yang dapat digunakan untuk mensterilkan serangga, tetapi bersifat karsinogenik pada manusia
- Chikungunya : penyakit akibat virus yang ditularkan dari gigitan nyamuk *Aedes aegypti* atau *Aedes albopictus*
- cluster : kelompok kasus suatu penyakit atau kondisi kesehatan lainnya di wilayah tertentu selama periode tertentu
- Cluster primer : *Cluster*/kelompok yang pertama terdeteksi.
- Cluster Random Sampling : teknik sampling daerah yang digunakan untuk menentukan sampel bila objek yang akan diteliti atau sumber data sangat luas.
- cluster sekunder : *cluster* berikutnya setelah *cluster* primer.

data atribut	: data yang merupakan bagian paling dasar dari suatu entitas atau objek. Dengan kata lain, atribut adalah kualitas atau karakteristik yang dimiliki oleh setiap entitas dalam basis data. Contoh data atribut, yaitu tata guna lahan, mineral, batuan, geologi, flora fauna, penduduk, administrasi, dan sosial ekonomi budaya dan politik.
data spasial	: data yang tersimpan dalam bentuk garis, titik, dan area. Contoh data grafis/spasial ini, yaitu topografi, rupabumi, lingkungan laut, dan lingkungan pantai.
deformasi	: perubahan bentuk atau wujud dari yang baik menjadi kurang baik
Dengue	: spesies virus yang menyebabkan demam berdarah dengue, dengan gejala demam, serta nyeri pada otot dan tulang.
detritus	: jaringan rusak yang terlepas dari tempat asalnya
dinamika	: sesuatu hal yang mencakup perubahan yang selalu bergerak dinamis
display	: memperlihatkan/menampilkan sesuatu atau kumpulan hal secara terorganisir agar orang dapat melihatnya
efisien	: tepat atau sesuai untuk mengerjakan (menghasilkan) sesuatu (dengan tidak membuang-buang waktu, tenaga, biaya)
ekologi	: tentang hubungan timbal balik antara makhluk hidup dan (kondisi) alam sekitarnya (lingkungannya)
eksuvia	: kulit atau cangkang yang dilepaskan saat proses <i>molting</i> pada hewan

endemis	: secara tetap terdapat penyakit di tempat-tempat atau di kalangan orang-orang tertentu dan terbatas pada mereka saja (seperti penyakit malaria di daerah pesisir dan penyakit cacing tambang di kalangan buruh tambang); tumbuh atau terdapat pada tempat atau wilayah tertentu
faktor risiko	: variabel-variabel yang berhubungan dengan peningkatan risiko suatu penyakit atau kondisi kesehatan tertentu, faktor risiko dapat berupa perilaku, paparan, karakteristik, tanda, atau gejala yang secara statistik meningkatkan kemungkinan terjadinya kasus heterogenitas baru: Suatu kelompok masyarakat yang terdiri dari banyak (bermacam-macam) perbedaan dan keberanekaragaman dilihat dari budaya, kebiasaan, profesi, dan kepercayaan
fogging	: salah satu metode pengendalian secara kimiawi dengan metode pengasapan untuk membunuh nyamuk dewasa
frekuensi	: banyaknya getaran atau gelombang yang dihasilkan dalam waktu setiap 1 detik
genera	: genus atau marga
generalis	: subjek yang keterampilan atau minatnya mencakupi beberapa bidang yang berbeda
GeoDa	: perangkat lunak yang mengombinasikan peta dan statistik grafik
gotong-royong	: kegiatan kerja sama dalam membersihkan lingkungan, maupun menyelenggarakan acara bakti sosial kemasyarakatan
habitat	: tempat hidup organisme tertentu; tempat hidup yang alami (bagi tumbuhan dan hewan); lingkungan kehidupan asli

iklim	: keadaan hawa (suhu, kelembapan, awan, hujan, dan sinar matahari) dalam jangka waktu yang agak lama (30 tahun) di suatu daerah
implikasi	: keterlibatan atau keadaan terlibat
infeksi	: terkena hama; kemasukan bibit penyakit; ketularan penyakit; peradangan
inovasi	: suatu proses atau hasil pengembangan dari pemanfaatan suatu benda atau produk atau sumber daya yang telah ada sebelumnya sehingga memiliki suatu nilai yang lebih berarti
insektisida	: senyawa kimia yang digunakan untuk membunuh serangga (biasanya dengan mengusapkan atau menyemprotkannya); obat pembunuh serangga
instar	: fase perkembangan serangga yang ditandai dengan pergantian kulit
intensitas	: keadaan tingkatan atau ukuran intensnya
interferensi	: interaksi dua buah gelombang yang berfrekuensi dan berfase sama besar
interpretasi	: perkiraan suatu objek berdasarkan bentuk, tone, tekstur, lokasi, asosiasi yang tampak pada foto udara
intervensi	: bentuk tindakan yang kerap terjadi dalam hubungan tertentu; langkah yang dimaksudkan untuk membuat keadaan menjadi lebih baik
invertebrata	: binatang yang tidak bertulang punggung
kader	: seseorang yang berperan dalam melaksanakan program dan menjadi penghubung antara pemerintah/organisasi dengan masyarakat

karbamat	: senyawa organik, turunan dari asam karbamat. Grup karbamat terdiri atas ester karbamat dan asam karbamat sebagai grup fungsional yang menghubungkan antara struktur yang berhubungan
kavitasi	: Proses menghasilkan gelembung dalam makanan dengan cara memberikan getaran yang sangat cepat dan memiliki frekuensi ultrasonik.
kopulasi	: Persetubuhan; perkawinan.
larva	: Fase atau bentuk juvenil sebelum bermetamorfosis menjadi hewan dewasa yang sumber makanan dan organ tubuhnya berbeda dari hewan dewasa.
lethal ovitrap	: Salah satu metode pengendalian nyamuk dengan membuat perangkap telur yang telah dilengkapi dengan jenis insektisida atau bahan lain yang dapat mematikan larva nyamuk.
longitudinal	: Gelombang yang memiliki arah getar sejajar dengan arah rambatnya.
kerifan lokal	: Kumpulan nilai-nilai, norma, pengetahuan, dan tradisi yang terkandung dalam suatu komunitas atau lingkungan.
Malaria	: penyakit yang disebabkan oleh parasit <i>Plasmodium</i> akibat gigitan nyamuk <i>Anopheles</i>
mekanisme	: Cara kerja.
merti kali	: Sebuah gerakan pemeliharaan sungai dan ekosistemnya.
metamorfosis	: Perubahan bentuk atau susunan; peralihan bentuk serangga (misalnya dari ulat menjadi kupu-kupu).
migrasi	: Perpindahan dari satu tempat ke tempat lain.

momentum	: besaran yang berkaitan dengan benda yang besarnya sama dengan hasil kali massa benda yang bergerak itu dan kecepatan geraknya; kuantitas gerak
Morfologi	: ilmu pengetahuan tentang bentuk luar dan susunan makhluk hidup.
memvisualisasikan	: suatu proses menggambarkan atau merepresentasikan informasi atau data dalam bentuk visual, seperti grafik, diagram, atau ilustrasi. Visualisasi data dapat membantu kita memahami pola, tren, dan hubungan antara variabel-variabel yang terlibat
Odonata	: ordo dari serangga karnivora
Organofosfat	: golongan senyawa organofosfor dengan struktur umum $O=P(OR)_3$, molekul fosfat sentral dengan substituen alkil atau aromatik
Organoklorin	: kelompok senyawa organik yang mengandung setidaknya satu atom klorin yang terikat secara kovalen sehingga berpengaruh pada sifat kimia molekul tersebut
overlay	: proses penumpukan dua atau lebih peta digital sehingga tersusun sedemikian rupa agar dapat melakukan analisis pola data spasial
oviposisi	: istilah yang digunakan untuk menggambarkan situasi bertelur
Ovitrap	: alat yang digunakan untuk menjebak atau memerangkap telur nyamuk
Patogen	: parasit yang mampu menimbulkan penyakit pada inangnya
pencemaran	: proses, cara, perbuatan mencemari, atau mencemarkan; pengotoran udara atau lingkungan
penetrasi	: penerobosan; penembusan; perembesan

Pengindraan jauh	: <i>Remote Sensing</i> adalah pengukuran atau akuisisi data suatu objek atau fenomena oleh sebuah alat yang tidak secara fisik melakukan kontak dengan objek tersebut atau dari jarak jauh, misalnya dari pesawat, pesawat luar angkasa, satelit, dan kapal.
pollinator	: perantara penyerbukan
populasi	: jumlah penghuni, baik manusia maupun makhluk hidup lainnya pada suatu satuan ruang tertentu
predator	: binatang yang hidupnya dari memangsa binatang lain; hewan pemangsa hewan lain
prevalensi	: jumlah keseluruhan kasus penyakit yang terjadi pada suatu waktu tertentu di suatu wilayah
preventif	: bersifat mencegah (supaya jangan terjadi apa-apa)
pupa	: ulat yang berdiam dalam kepompong untuk berubah menjadi serangga
Pyretroid	: senyawa organik yang mirip dengan piretrin alami, yang dihasilkan oleh bunga piretrum. Piretroid digunakan sebagai insektisida komersial dan rumah tangga
reproduksi	: pengembangbiakan
reseptor	: ujung saraf yang peka terhadap rangsangan pancaindra; penerima
resistensi	: sikap atau tindakan yang menentang, melawan, menampik, atau menghalau suatu tekanan/perintah/anjuran yang datang dari luar spesies; satuan dasar klasifikasi biologi; jenis; kemampuan individu serangga dalam suatu populasi untuk bertahan hidup terhadap suatu dosis insektisida, yang dalam keadaan normal dapat membunuh spesies serangga tersebut

resonansi	: peristiwa turut bergetarnya suatu benda karena pengaruh getaran gelombang elektromagnetik luar
SaTScan	: <i>software</i> yang digunakan untuk analisis spasial, <i>temporal</i> , dan <i>space-time</i> data yang menggunakan spasial, <i>temporal</i> , atau <i>space-time scan</i> statistik
sedimentasi	: pengendapan atau hal mengendapkan benda padat karena pengaruh gaya berat
sensilla	: sel-sel saraf sensorik khusus (neuron) yang memberi umpan balik informasi ke otak mengenai lingkungan di mana lebah madu berada
signifikan	: penting; berarti: seseorang yang/untuk dijadikan anutan; perbedaannya kecil sekali
spasiotemporal	: penggabungan aspek keruangan dan aspek waktu
spesies	: suatu peringkat taksonomi yang merujuk pada kelompok individu makhluk hidup yang serupa dan dapat saling membuahi satu sama lain
stratifikasi	: suatu pembedaan penduduk atau kelompok masyarakat yang berdampak kesehatan ke dalam kelas-kelas secara bertingkat atas besarnya masalah kesehatan
subtropis	: beriklim panas
surveilans	: kegiatan pengamatan yang sistematis (mengumpulkan, memproses, menganalisis, menginterpretasi) dan terus-menerus terhadap data dan informasi tentang kejadian atau masalah kesehatan
telur fertile	: telur yang tidak dapat menetas karena tidak mengandung embrio
termal	: berkaitan dengan panas

themefose	: larvasida organofosfat yang digunakan untuk membunuh serangga air pembawa penyakit termasuk nyamuk, pengusir hama, dan larva lalat hitam
tracking	: kegiatan melakukan pelacakan terhadap sesuatu informasi
transduser	: setiap peranti atau unsur yang mengubah isyarat masukan menjadi isyarat keluaran dalam ragam berbeda
transmisi	: penularan, penyebaran, penjangkitan penyakit
transovary	: proses pemindahan patogen dari induknya ke keturunan melalui telur/ovarium terjadi pada vektor arthropoda tertentu karena mereka mengirimkan patogen dari induk ke keturunannya.
tropis	: mengenai daerah tropik (sekitar khatulistiwa)
vektor	: artropoda atau invertebrata lain yang dapat menularkan patogen dengan melakukan inokulasi kedalam tubuh melalui kulit atau membran mukosa, melalui gigitan, atau meletakkan material infeksi pada kulit, makanan atau obyek lain
vektor mekanis	: arthropoda yang menularkan patogen ke manusia melalui bagian luar tubuhnya
vektor biologi	: arthropoda yang dapat menularkan patogen, di mana patogen yang akan ditularkan masuk ke dalam tubuh serangga dahulu sebelum ditularkan ke manusia
virus	: sebuah mikroorganisme yang mampu menggandakan atau menyebarkan diri di dalam sel inang yang hidup
Wolbachia	: bakteri yang dapat hidup pada tubuh nyamuk <i>Ae. Aegypti</i> dan berperan menghambat replikasi virus DBD

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tentang Editor



Siwi Pramatama Mars Wijayanti, lahir di Kebumen, 10 Maret 1982. Penulis menyelesaikan studi S1 di Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman, S2 di Ilmu Kedokteran Tropis, Universitas Gadjah Mada, dan S3 di Centre for Virus Research (CVR), University of Glasgow, United Kingdom. Penulis merupakan dosen peminatan epidemiologi di Jurusan Kesehatan Masyarakat, Fakultas Ilmu-Ilmu Kesehatan, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto.

Penelitiannya berfokus pada penyakit menular terutama penyakit tropis dan khususnya penyakit tular vektor nyamuk (*Mosquito-borne diseases*). Penulis banyak mendapatkan hibah penelitian dari nasional (DIKTI dan Badan Riset dan Inovasi Nasional/BRIN) dan internasional (Medical Research Council, United Kingdom). Penulis

Buku ini tidak diperjualbelikan.

aktif menulis publikasi ilmiah di berbagai jurnal ilmiah, baik nasional terakreditasi maupun jurnal internasional bereputasi. Beberapa buku yang pernah ditulisnya, yakni *Pengendalian Vektor Epidemiologi, Dasar-Dasar Epidemiologi dan Vektor Penyakit dan Metode Pengendaliannya*. Penulis juga merupakan *reviewer* beberapa jurnal nasional dan internasional, serta *chief editor* pada *Insights in Public Health Journal*. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail*: siwi.wijayanti@unsoed.ac.id



Aditya Lia Ramadona, seorang akademisi dan peneliti yang memfokuskan diri pada riset dalam bidang kesehatan masyarakat digital dan kesehatan planetari. Saat ini, ia bekerja di Departemen Perilaku Kesehatan, Lingkungan, dan Kedokteran Sosial, Universitas Gadjah Mada (UGM). Perjalanan akademis Aditya dimulai dengan gelar Sarjana Fisika dari UGM, diikuti dengan gelar Magister Ilmu

Lingkungan dari universitas yang sama. Ia kemudian melanjutkan studi doktoral dalam bidang Epidemiologi dan Kesehatan Masyarakat di Universitas Umea, Swedia, di mana ia mengembangkan model prediksi spatiotemporal risiko wabah arbovirus, dengan penekanan pada peran cuaca dan mobilitas penduduk.

Sepanjang kariernya, Aditya telah terlibat dalam berbagai proyek penelitian, terutama dalam pemodelan penyakit menular dan intervensi kesehatan masyarakat. Beberapa proyeknya termasuk mengembangkan sistem peringatan dini untuk wabah demam berdarah, memantau penyebaran chikungunya di Eropa menggunakan big data, dan mengembangkan chatbot kesehatan mental. Ia telah berkontribusi pada berbagai jurnal ilmiah, menulis tentang topik-topik, seperti dinamika wabah demam berdarah, faktor lingkungan yang memengaruhi leptospirosis dan filariasis, serta promosi kesehatan

melalui media sosial. Beberapa karya yang paling sering dikutip termasuk studi tentang prediksi wabah demam berdarah berdasarkan data surveilans penyakit dan meteorologi, serta penggunaan big data untuk memantau penyebaran chikungunya. Selain penelitiannya, Ia telah menulis beberapa buku tentang teknologi informasi kesehatan dan analisis spasial. Ia juga berpartisipasi dalam inisiatif kebijakan kesehatan masyarakat dan aktif terlibat dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat, seperti mempromosikan penerimaan vaksin COVID-19 dan meningkatkan ketahanan pangan perkotaan melalui pengelolaan limbah terpadu dan pertanian perkotaan. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail*: alramadona@ugm.ac.id

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tentang Penulis



Riyani Setiyaningsih lahir di Salatiga, pada 10 Juli 1977. Pendidikan S1 Biologi UKSW dan S2 Kedokteran Tropis Jurusan Entomologi Kesehatan UGM. Bekerja sebagai entomolog kesehatan di Balai Besar Laboratorium Kesehatan Lingkungan (BBLKL) Salatiga. Kegiatan yang dilakukan berdasarkan keahlian, antara lain menulis buku dan jurnal; serta mengajar baik di perguruan tinggi (sebagai dosen bagi mahasiswa D3–S2), instansi pemerintah, maupun instansi swasta dalam bidang entomologi. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail*: riyanisetia@gmail.com



Triwibowo Ambar Garjito, peneliti di bidang vektor penyakit dan dinamika penularan penyakit tular vektor dan zoonosis di kelompok riset penyakit tular vektor dan zoonosis, Pusat riset Kesehatan masyarakat dan Gizi, Organisasi Riset Kesehatan BRIN. Memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) pada tahun 2000 di Fakultas Biologi UGM. Pendidikan S-2 (M.Kes.) diperoleh dari Program Magister Ilmu Kedokteran Tropis UGM pada tahun 2007. Pendidikan doctoral (Ph.D.)

diselesaikan pada akhir tahun 2020 di Doctoral School of Chemical and Biological Health Sciences, University of Montpellier, Prancis. Karier di bidang penelitian penyakit tular vektor pada Badan Litbang Kesehatan diawali sebagai koordinator lapangan dalam *Malaria Control Evaluation Project* di Lombok Barat, NTB, pada tahun 2001. Kemudian sejak tahun 2002, memulai kariernya sebagai peneliti vektor penyakit pada Unit Pelaksana Fungsional Pengendalian Vektor dan Reservoir Penyakit (UPF-PVRP) Donggala, Sulawesi Tengah. Pada tahun 2008, terlibat dalam Studi epidemiologi *schistosomiasis* di tiga daerah endemis *schistosomiasis* di wilayah Kabupaten Sigi dan Poso, Provinsi Sulawesi Tengah sebagai koordinator *ground snail survey*. Pada tahun 2009–2010 menjadi ketua pelaksana penelitian skala nasional untuk mengidentifikasi faktor risiko penularan flu burung (HPAI H5N1) melalui *grant* dari WHO-EU.

Pada tahun 2011, terlibat sebagai anggota penelitian dalam studi epidemiologi filariasis di Kabupaten Mamuju Utara, Sulawesi Barat, dan berhasil menemukan daerah endemis filariasis di wilayah Mamuju Utara. Selama periode waktu 2005–2012, yang bersangkutan juga terlibat dalam tim *outbreak response* malaria dan survei longitudinal entomologi malaria yang dibiayai oleh GF ATM dan Ditjen P2M di wilayah Pulau Seram, Maluku (2008); Pangandaran, Jawa Barat;

Donggala, Sulawesi Tengah; dan beberapa wilayah lainnya di Indonesia. Pada tahun 2012, yang bersangkutan pindah tugas sebagai peneliti vektor penyakit di Balai Besar Litbang Vektor dan Reservoir Penyakit (B2P2VRP) di Salatiga. Sejak saat itu, beberapa studi terkait penyakit tular vektor dilakukan, di antaranya ekspedisi Nyamuk Jawa (2013), studi epidemiologi *Japanese encephalitis* di beberapa wilayah di Indonesia, studi mengenai taksonomi *Anopheles*, dinamika penularan arbovirus di Indonesia, dan menjadi bagian dari tim teknis riset nasional vektor dan reservoir penyakit (Rikhus Vektora) pada tahun 2015–2018. Pada tahun 2018–2020, terlibat dalam berbagai studi vektor arbovirus kerja sama antara Kemenkes RI, Hydrosience Montpellier, IRD, CIRAD yang merupakan bagian dari Studi doctoralnya. Pada 2022, Triwibowo melanjutkan karier penelitiannya di Pusat Riset Kesehatan Masyarakat dan Gizi, Organisasi Riset Kesehatan BRIN. Di samping menjadi peneliti, yang bersangkutan juga mempunyai aktivitas mengajar di S2 Ilmu Kedokteran Tropis FKMMK UGM, S2 Biomedik FKMMK UGM, Master program of WHO TDR International Postgraduate on Implementation Research FKMMK UGM, Master o Eco-Health, UM France, Program S-3 Biologi UGM dan beberapa undangan mengajar tamu di UNDIP, Unsoed, dan UNY. Pada tahun 2022–2023, setelah pandemic COVID-19, terlibat dalam penelitian kerja sama PRBM Eijkman BRIN, USU, Menzies School of Health Research, James Cook University, Melbourne University, Charles Darwin University, dan berbagai kolaborator dari Australia untuk kegiatan penelitian zoonotic malaria. Saat ini, Triwibowo masih aktif terlibat dalam berbagai penelitian terkait xenomonitoring di Kabupaten Belitung, Pengembangan predictor entomologis baru untuk analisis risiko penularan Dengue di kota Semarang, dan beberapa penelitian lainnya. Selain itu, Triwibowo juga terlibat dalam Kelompok Kerja arbovirus Kemenkes RI (2023–sekarang); Komisi ahli vektor dan binatang pembawa penyakit Kemenkes RI (2016–2023); Komisi etik Kesehatan BRIN (2022–sekarang); dan beberapa tugas lainnya terkait pengendalian Malaria dan penyakit tular vektor lainnya. Penulis dapat dihubungi pada *e-mail*: triwibowoa@gmail.com



Anis Nur Widayati lahir di Surakarta, pada 21 November 1983. Anis menyelesaikan studi S1 tahun 2006 di Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada, dan S2 di Ilmu Kedokteran Tropis FKMK UGM tahun 2011. Saat ini, penulis tengah menempuh studi doktoral di Fakultas Biologi UGM dengan pembiayaan beasiswa LPDP Kementerian Keuangan. Anis menjadi peneliti di Balai Litbang Kesehatan Donggala, sejak 2006 hingga 2022. Pada tahun 2022, bergabung dalam Kelompok Riset Penyakit Tular Vektor Zoonosis pada Manusia, Pusat Riset Kesehatan Masyarakat dan Gizi, Organisasi Riset Kesehatan, Badan

Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Buku dan bunga rampai yang telah diterbitkan, yaitu *Buku Pedoman Nasional Survei Keong Perantara Schistosomiasis, Entomologi Kedokteran dan Kesehatan/Siphonoptera sebagai Vektor Penyakit; Pengembangan Model Bada Menuju Eliminasi Schistosomiasis; Fokus Keong Perantara Schistosomiasis serta Rencana Aksi Pengendalian dalam Rangka Eliminasi Schistosomiasis 2020; Buku Penyakit Bersumber Lingkungan; dan Buku Entomologi Kesehatan; dan Buku Genetika dan Biologi Reproduksi*. Penulis dapat dihubungi pada e-mail: anisnurw21@gmail.com dan anis027@brin.go.id



Sunaryo, lahir pada 13 April 1966 di Banjarnegara, Provinsi Jawa Tengah. Penulis menyelesaikan Studi Diploma 3 di Akademi Penilik Kesehatan Teknologi Sanitasi HAKLI Semarang, lulus tahun 1988. Melanjutkan Studi S1 di Universitas Diponegoro Semarang Jurusan Kesehatan Lingkungan tahun 2008 dan melanjutkan pendidikan ke Jenjang S2 mengambil jurusan Magister

Penginderaan Jauh Kesehatan di Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, lulus tahun 2010. Saat ini, penulis bekerja di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) sebagai Peneliti Ahli Madya. Beberapa publikasi ilmiah (sebagai penulis utama dan pendamping) telah diterbitkan pada jurnal ilmiah nasional terakreditasi dan jurnal internasional bereputasi Global. Beberapa buku yang pernah ditulisnya, yakni *Sistem Informasi Geografis untuk Kesehatan Masyarakat Penerbit Diandra Offset* dan *Buku Pedoman Pendampingan Sabu Saka (Satu Ibu Satu Kader)* yang diterbitkan melalui Program Akuisisi Penerbit BRIN. Penulis juga merupakan *reviewer* jurnal nasional Sinta 2, yaitu *Aspirator*. Penulis dapat dihubungi pada *e-mail*: aryryo51@gmail.com



Mujiyanto, lahir di Sleman, Yogyakarta, pada 18 Mei 1981. Ia tercatat sebagai lulusan Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Jenjang S1 Kartografi dan Penginderaan Jauh Fakultas Geografi UGM tahun 2005, sedangkan gelar master dari Ilmu Kesehatan Masyarakat Fakultas Kedokteran UGM tahun 2012. Karier dan pekerjaan beliau dimulai tahun 2006 sebagai peneliti di Loka Litbang P2B2 Donggala Kementerian

Kesehatan RI (Balai Litbangkes Donggala) Sulawesi Tengah sampai dengan tahun 2018, kemudian tahun 2018–2022 di Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Vektor dan Reservoir Penyakit (B2P2VRP) Salatiga, Kementerian Kesehatan RI. Kemudian 2022 sampai saat ini sebagai Peneliti di Pusat Riset Kesehatan Masyarakat dan Gizi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Penelitian beliau terkait spasial epidemiologi penyakit tular vektor dan zoonosis, seperti dengue, schistosomiasis, malaria, filariasis, leptospirosis, dan penyakit tular vektor dan zoonosis lainnya. Publikasi ilmiah sudah diterbitkan pada jurnal internasional bereputasi global dan juga jurnal nasional terakreditasi. Beberapa tulisan bagain dari buku juga sudah ditulisnya baik penerbit internasional dan nasional. Penulis dapat dihubungi pada *e-mail*: mujiyanto@gmail.com dan mujiyanto.1@brin.go.id

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Dwi Sarwani Sri Rejeki, lahir di Karanganyar, 26 November 1976, menamatkan Pendidikan S1 di FKM Undip, S2 di Magister Epidemiologi Undip, dan S3 di FKMKM UGM. Saat ini, beliau sebagai pengajar di Prodi S1 dan S2 Kesehatan Masyarakat, Fakultas Ilmu-Ilmu Kesehatan Universitas Jenderal Soedirman. Gelar guru besar diperoleh dari bidang ilmu Epidemiologi.

Beberapa prestasi penulis, yaitu peraih Satyalancana Karya Satya 10 dan 20 tahun dari Presiden RI; dosen berprestasi I tingkat Fakultas (2020); dosen berprestasi III (tingkat Universitas) (2020); lulusan terbaik di Magister Epidemiologi (2006) dan lulusan Cumlaude dari FKMK (April 2018); penyaji terbaik IbM DRPM Dikti (2014); serta penyaji terbaik hasil riset hibah disertasi doktor (2017). Beberapa hibah penelitian dan pengabdian masyarakat diperoleh dari LPDP, DRTPM Dikti, dan BLU Unsoed. Menjadi pengelola dan juga *reviewer* pada beberapa jurnal dan prosiding nasional dan internasional. Menulis buku *Monograf Spatiotemporal Malaria di Ekosistem Menoreh*, Buku Ajar *Epidemiologi Penyakit Menular*, dan Buku Ajar *Dasar Epidemiologi*. Bergabung di Pengurus Pusat Ikatan Ahli Kesehatan Masyarakat (PP IAKMI), serta menjadi anggota Persatuan Ahli Epidemiologi Indonesia (PAEI) dan Perkumpulan Pemberantasan Tuberkulosis Indonesia (PPTI).



Sama' Iradat Tito, lahir di Malang, pada 23 Juni 1986. Ia tercatat sebagai lulusan Universitas Brawijaya Jenjang S1 Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UB tahun 2009, sedangkan gelar master dari Pengelolaan Sumber Daya Lingkungan dan Pembangunan Pasca Sarjana UB tahun 2011. Sementara itu, gelar Doktor didapatkan dari Program Doktorat

Ilmu Pertanian Departemen Hama dan Penyakit Tumbuhan UB tahun 2019. Karier dan pekerjaan beliau dimulai pada tahun 2011 sebagai Staf Sustainability SMARTRI Sinar Mas sampai dengan tahun 2012, kemudian tahun 2012–2014 menjadi Staf research and development Musim Mas Group, kemudian tahun 2015–2019 menjadi Dosen Tetap Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Malang, dan tahun 2019 sampai saat ini menjadi Dosen Tetap Fakultas MIPA Universitas Islam Malang. Penelitian beliau terkait Pengaruh Gelombang Ultrasonik Jangkrik terhadap Tikus sudah dimanfaatkan secara luas oleh masyarakat dalam youtube https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=H-u8iP_SAbk. Buku beliau yang menarik adalah *Dari Gagap Menjadi Dosen* yang menggugah bahwa setiap orang layak untuk sukses. Penulis dapat dihubungi dengan *e-mail*: sama_iradat_tito@unisma.ac.id



Leny Ardini Arianti, lahir di Lombok pada 26 Desember 2002. Saat ini, ia sedang menempuh kuliah di Universitas Islam Malang, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Prodi Biologi. Adapun pengalaman yang telah diperoleh selama kuliah adalah menjadi asisten praktikum fisika dasar dan aktif dalam organisasi kepalangmerahan. Ia menjadi sekretaris divisi SDM Ksr-PMI Unit

UNISMA periode 2023–2024. Pernah menjadi koordinator lomba cerdas cermat Palang Merah Remaja (VILARAJA) tahun 2023. Adapun karya yang telah dipublikasikan, yaitu “Analisis Pengaruh Pemberian Polusi Cahaya terhadap Pola Makan Jangkrik (*Gryllus bimaculatus*)” pada Jurnal Ilmiah Mahasiswa, Universitas Islam Malang tahun 2023. Ia juga pernah meraih juara harapan 1 tingkat nasional pada lomba essay di ajang kompetisi UNICOV. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail*: lenyarianti2612@gmail.com



Annisa Utami Rauf, lahir di Makassar pada tanggal 26 Juni 1994. Meraih gelar sarjana di Departemen Kimia, Universitas Negeri Makassar tahun 2017 dan menamatkan jenjang pendidikan Magister dan Doktoral di Universitas Hasanuddin Makassar tahun 2022 dalam bidang Ilmu Kesehatan Masyarakat melalui beasiswa Pendidikan Magister Menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU) Batch IV dari

Kemenristekdikti. Pada tahun 2017, dinobatkan sebagai Duta Muda ASEAN Indonesia Provinsi Sulawesi Selatan, oleh Kementerian Luar Negeri Republik Indonesia. Pengalaman ilmiah luar negeri, antara lain *Postdoctoral Research Fellow* di The Institut Desbrest d'Épidémiologie et de Santé Publique (IDESP), Université de Montpellier, Prancis tahun 2024 dan mengikuti pelatihan *Environmental Monitoring and Modelling* di Malaysia – Japan International Institute of Technology (MJIIT), Universiti Teknologi Malaysia tahun 2019, serta berpengalaman dalam berbagai kolaborasi penelitian internasional sebagai *Research Collaborator* dengan institusi luar negeri di antaranya Gaza University, Mahidol University, dan Seoul National University (SNU). Pertemuan dan konferensi internasional yang pernah diikuti, antara lain The 1st World Scientific Forum of Indonesia (WSFI); 52nd Asia-Pacific Academic Consortium for Public Health (APACPH) Conference; 13th Internasional Nursing Conference; 1st International Conference on Safety and Public Health; dan 2nd International Modern Scientific Research Congress. Saat ini, aktif sebagai dosen di Departemen Perilaku Kesehatan, Lingkungan dan Kedokteran Sosial, Fakultas Kedokteran, Kesehatan Masyarakat dan Keperawatan (FK-KMK), Universitas Gadjah Mada dan telah menerbitkan beberapa artikel dan *book chapter* nasional, serta internasional yang terindeks *Scopus* dan *WOS* yang mencapai lebih dari 20 artikel. Selain itu, Ia juga berkontribusi sebagai editor di berbagai jurnal, seperti Berita “Kedokteran Masyarakat (BKM) UGM”, “Applied and Environmental Soil Science”, dan “Advances in Public Health” yang diterbitkan oleh Wiley”. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail*: annisaur@ugm.ac.id



Ratna Dwi Puji Astuti, lahir di Jakarta pada tanggal 03 Agustus 1994. Menamatkan Sarjana Kesehatan Masyarakat pada Departemen Kesehatan Lingkungan, Universitas Indonesia tahun 2016 dan selesai menamatkan program pendidikan percepatan magister dan doktoral di Universitas Hasanuddin Makassar tahun 2022 dalam bidang ilmu kesehatan masyarakat. Saat ini mengabdikan sebagai dosen di Departemen Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Airlangga,

Surabaya. Selain sebagai dosen, juga pernah menjadi peneliti post-doctoral di Pusat Riset Sumber Daya Geologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) di tahun 2023. Pengalaman ilmiah luar negeri, antara lain mengikuti program *distinguished professor* dari Parul University India tahun 2024; *training Environmental Monitoring and Modelling* di Malaysia – Japan International Institute of Technology (MJIT) pada tahun 2019; *online training Infectious Disease Transmission Models for decision makers* dari John Hopkins University USA tahun 2022; *online training Measuring and Maximizing Impact of COVID-19 contact tracing* dari John Hopkins University USA tahun 2022; *online training* berupa *Lean Six Sigma White Belt* dan *Project Management Essentials* dari *Management and Strategy Institute* di tahun 2020; dan *online training COVID-19: Global Health Perspectives* dari University of Melbourne Australia tahun 2022.

Konferensi Internasional yang pernah diikuti sebagai pembicara, antara lain 52nd Asia-Pacific Academic Consortium for Public Health (APACPH) conference; 13th Internasional Nursing Conference; 1st International conference on Safety and Public Health; 2nd International Modern Scientific Research Congress; dan international colloquium on the impact of climate change on the sustainability of public health and food security. Pernah berkolaborasi penelitian dengan peneliti dari beberapa institusi terkemuka di dunia, di antaranya Seoul National University (Korea Selatan), Mahidol University (Thailand), dan Gaza

University (Palestina). Penulis hingga saat ini aktif menerbitkan artikel ilmiah dan *book chapter* di berbagai jurnal bereputasi Internasional (terindeks SCOPUS dan WEB OF SCIENCES). Saat ini, penulis aktif sebagai *reviewer* di beberapa jurnal ilmiah bereputasi Internasional, di antaranya “Environmental Geochemistry and Health”, “Plos One”, “Environment Development and Sustainability”, “Water and Environment Journal, Chemosphere”, dan “Ain Shams Engineering Journal”, serta menjadi *review editor* di *Frontiers in Sustainable Ocean – Marine and Coastal Pollution*. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail*: ratna.dwi@fkm.unair.ac.id.



Lusha Ayu Astari, tumbuh dengan latar belakang Pendidikan di bidang kesehatan masyarakat. Menyelesaikan studi S1 di Universitas Airlangga dengan gelar Sarjana Kesehatan Masyarakat pada tahun 2016, kemudian menyelesaikan pendidikan masternya di Ilmu Kesehatan Masyarakat dalam *WHO-TDR Special Program for Implementation Research*, Universitas Gadjah Mada pada tahun 2020. Saat ini, penulis aktif sebagai akademisi di Departemen Kebijakan dan Manajemen Kesehatan, Fakultas Kedokteran, Kesehatan Masyarakat, dan Keperawatan (FKKMK) di Universitas Gadjah Mada. Pengalaman di bidang Kesehatan masyarakat berkembang dimulai saat penulis menjadi asisten epidemiolog lapangan pada Maret 2016, dan kemudian sebagai panitia bidang kesehatan untuk PON XIX di Dispora Jawa Barat di tahun yang sama. Kemudian dilanjutkan menjadi profesional epidemiolog di Dinas Kesehatan Kabupaten Bandung dari Desember 2016 hingga Januari 2018, yang bertanggung jawab atas pengawasan dan penanganan wabah penyakit, yang memperkaya kapasitasnya dalam mengelola masalah kesehatan masyarakat yang kompleks. Selain pengalaman profesional, penulis juga aktif mengikuti pelatihan dan seminar, di antaranya adalah ikut serta pada *Joint International Tropical Medicine*

Meeting di Thailand; 3rd *Public Health UGM Symposium* di Yogyakarta; dan pelatihan epidemiolog oleh Dinas Kesehatan Jawa Barat di Bandung. Selain itu, juga berpartisipasi di pelatihan sistem manajemen mutu ISO dan APACPH Conference menunjukkan komitmen terhadap pengembangan profesional di bidang kesehatan masyarakat. Keseluruhan pengalaman tersebut telah membentuk penulis menjadi seorang profesional kesehatan masyarakat yang bekerja tidak hanya pada tingkat akademis tetapi juga dalam aplikasi praktis pengetahuan epidemiologis dan kebijakan kesehatan untuk meningkatkan kesehatan dan kesejahteraan masyarakat. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail*: lusha.ayu.a@ugm.ac.id

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Indeks

- adaptif, 7, 132, 227, 251
- Aedes, 15, 16, 47, 48, 50, 51, 53,
132, 156, 157, 160, 161, 162,
163, 196, 198, 251
- Aedes aegypti, 2, 3, 6, 7, 10, 17, 28,
34, 48, 49, 51, 77, 78, 80, 83,
84, 143, 157, 163, 170, 179,
185, 200, 203, 217, 229, 251
- Aedes albopictus, 2, 51, 229, 251
- alga, 129, 131, 227, 251
- amplitudo, 138, 139, 140, 150, 155,
227, 251
- analisis *buffering*, 110, 113, 251
- analisis *clustering*, 98, 110, 119, 251
- analisis *overlay*, 110, 251
- analisis *purely spatial scan statistik*,
96, 251
- analisis *purely temporal scan*
statistik, 96, 251
- analisis *space-time scan statistik*,
96, 251
- analisis spasial, 56, 62, 87, 91, 92,
93, 94, 99, 110, 121, 228, 251
- anautogenous, 131, 229
- android, 174, 196, 251
- Annual Parasite Incidence, 223, 251
- Anopheles, 2, 3, 5, 6, 10, 22, 23, 32,
38, 129, 131, 143, 196, 229,
233, 241, 251
- antropofag, 229, 251
- apoptosis, 151, 229, 251
- autocorrelation, 102, 251
- Bali, 160, 176, 189, 191, 192, 196,
251
- Banyumas, 13, 30, 51, 110, 111, 112,
113, 114, 115, 116, 117, 118,
119, 120, 123, 251

Behavior Change Communication, 182, 251
 biokontrol, 128, 143, 156, 229
 bionomik, 20, 25, 47, 132, 208, 229
buffer, 57, 72, 81, 110, 228, 251
 chikungunya, 9, 20, 21, 25, 26, 42, 43, 44, 89, 125, 132, 136, 167, 186, 250, 251
chloropleth map, 64, 73, 251
citizen science, 184, 197, 251
 cluster, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 119, 120, 121, 123, 228, 229, 251
 clustered, 101, 102, 252
 clustering, 57, 94, 98, 102, 106, 109, 110, 119, 123, 210, 228, 251, 252
 cluster primer, 97, 104, 109, 119, 120, 229, 251
 Cluster Random Sampling, 146, 229
 cluster sekunder, 104, 109, 120, 229, 252
Crowdsourcing, 183, 200, 252
 curah hujan, 13, 95, 112, 113, 128, 136, 137, 213, 252
 daerah endemis, 23, 30, 42, 46, 126, 161, 172, 188, 241, 252
 data atribut, 58, 62, 68, 69, 70, 84, 90, 91, 93, 94, 230, 252
 data spasial, 57, 58, 90, 91, 93, 94, 97, 110, 228, 230, 234, 252
 deformasi, 151, 230, 252
 Demam Berdarah Dengue, 2, 7, 19, 52, 66, 75, 89, 97, 109, 159, 162, 209, 224, 252
 demografis, 56, 57, 61, 92, 252
 dengue, 15, 16, 17, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 68, 83, 86, 87, 89, 92, 109, 121, 123, 125, 126, 156, 157, 158, 161, 162, 163, 167, 170, 196, 197, 198, 199, 201, 202, 203, 204, 205, 209, 230, 244, 252
 density, 57, 252
 detritus, 129, 230, 252
diseases mapping, 57, 59, 252
dispersed, 101, 252
 display, 71, 230, 252
 drone, 181, 197, 202, 252
 efisien, 128, 143, 179, 180, 181, 213, 215, 216, 230, 252
 ekologi, 11, 134, 230, 252
 eksplorasi, 94, 219, 252
 eksploratif, 62, 71, 252
 eksuvia, 129, 230, 252
 endemis, 15, 23, 29, 30, 42, 46, 51, 101, 126, 137, 161, 172, 188, 231, 241, 252
 endemisitas, 30, 64, 93, 99, 192, 252
 End Malaria Fund, 177, 252
 epidemiologi, 43, 56, 57, 62, 63, 66, 73, 90, 92, 93, 96, 97, 99, 109, 121, 162, 209, 239, 241, 244, 252
 faktor risiko, 42, 56, 57, 58, 59, 92, 93, 188, 209, 231, 241, 252
 fasilitas kesehatan, viii, 61, 81, 92, 113, 114, 185, 252
 Fight the Bite, 176, 252

filariasis, 9, 20, 25, 89, 97, 132, 133,
 136, 158, 161, 163, 178, 201,
 204, 241, 244, 250, 252
 fogging, 20, 21, 23, 28, 31, 45, 46,
 126, 133, 199, 231, 252
forecasting, 57, 252
 frekuensi, 13, 33, 42, 92, 128, 138,
 140, 141, 142, 143, 144, 149,
 150, 151, 153, 154, 155, 158,
 160, 161, 231, 233, 252
 fuzzy, 82, 83, 84, 86, 87, 252
 genera, 2, 128, 161, 231, 252
 generalis, 130, 231, 252
 GeoDa, 94, 96, 209, 231, 252
 Google Earth, 77, 78, 252
 habitat, 7, 11, 48, 63, 65, 80, 83, 98,
 130, 131, 133, 137, 213, 231,
 252
 Health Belief Model, 186, 252
 Health promoting school, 204
 heterogenitas, 56, 57, 231, 252
 hidrologi, 69, 70, 78, 209, 252
 High Case Incidence, 224, 252
 identifier, 68, 252
 iklim, 8, 11, 25, 71, 125, 132, 136,
 137, 161, 169, 219, 232, 252
 implikasi, 151, 232, 252
 Implikasi, 13, 210
 India, 172, 173, 182, 183, 184, 201,
 204, 248, 252
 Indonesia, 1, 2, 7, 8, 9, 10, 12, 14,
 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23,
 24, 26, 28, 29, 34, 35, 39, 40,
 41, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52,
 53, 55, 58, 62, 82, 86, 87, 88,
 89, 90, 97, 121, 122, 123,
 125, 126, 132, 133, 158, 159,
 160, 161, 162, 165, 167, 172,
 173, 176, 179, 180, 187, 188,
 189, 192, 196, 198, 200, 201,
 202, 203, 204, 205, 207, 225,
 226, 241, 245, 246, 247, 252
 infeksi, 33, 133, 232, 252
 insektisida, 10, 22, 23, 24, 25, 27,
 28, 30, 40, 41, 45, 47, 52,
 126, 133, 185, 193, 195, 210,
 232, 233, 235, 252
 instar, 3, 129, 151, 153, 232, 252
 intensitas, 65, 74, 139, 142, 149,
 150, 154, 155, 232, 252
 interferensi, 138, 232, 252
 invertebrata, 131, 232, 237, 252
 Japanese encephalitis, 2, 241
 Japanese Encephalitis, 20, 224, 252
 jenis batuan, 118, 121, 252
 John Snow, 56, 86, 90, 252
 kavitasi, 139, 154, 155, 233, 252
 kejadian luar biasa, 21, 30, 45, 95,
 98, 123, 137
 Kejadian Luar Biasa, 28, 224, 252
 kepadatan penduduk, 11, 115, 116,
 117, 121, 162, 209, 252
 Kokap, 104, 107, 109
 komparatif, 62, 71, 252
 kontainer, 3, 31, 84, 131, 191, 253
 kontur, 63, 69, 78, 79, 253
 kopulasi, 36, 131, 233, 253
 Kulonprogo, 104, 253
land use, 78, 160, 161, 253

- larva, 3, 7, 11, 28, 48, 77, 78, 84,
128, 129, 131, 135, 151, 153,
154, 160, 186, 233, 237, 253
- longitudinal, 128, 233, 241, 253
- Low Case Incidence, 225, 253
- malaria, 8, 10, 15, 20, 21, 25, 29,
30, 31, 32, 40, 42, 47, 48, 49,
50, 51, 52, 59, 60, 65, 87, 89,
92, 97, 98, 99, 101, 102, 105,
106, 108, 109, 121, 122, 123,
124, 125, 126, 132, 133, 134,
136, 137, 160, 167, 169, 172,
176, 177, 180, 182, 185, 186,
188, 192, 196, 197, 200, 201,
209, 229, 231, 241, 242, 244,
253
- Maluku Utara, 172, 253
- mekanisme, 28, 33, 52, 140, 154,
194, 211, 233, 253
- Meksiko, 173, 253
- Menoreh, 13, 99, 100, 101, 102, 104,
105, 106, 107, 109, 123, 245
- metamorfosis, 3, 4, 28, 129, 233,
253
- migrasi, 142, 188, 233, 253
- modeling, 94, 253
- model spasial, 56, 84, 253
- Moderate Case Incidence, 225, 253
- momentum, 138, 234, 253
- morfologi, 36, 37, 38, 51, 151, 253
- Mosquito Awareness Week, 175,
201, 253
- nyamuk, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12,
13, 14, 19, 20, 21, 22, 23, 24,
25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32,
33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40,
41, 42, 47, 48, 49, 50, 51, 52,
53, 55, 56, 57, 58, 63, 64, 65,
66, 71, 80, 83, 84, 86, 89, 98,
125, 126, 127, 128, 129, 130,
131, 132, 133, 134, 135, 136,
137, 138, 142, 143, 144, 145,
146, 147, 148, 149, 150, 151,
153, 154, 156, 157, 158, 159,
160, 161, 162, 165, 166, 167,
168, 169, 170, 171, 172, 173,
174, 175, 176, 179, 181, 182,
183, 184, 185, 186, 187, 188,
189, 190, 191, 192, 193, 194,
195, 196, 198, 199, 203, 204,
207, 209, 210, 211, 214, 215,
216, 217, 227, 229, 231, 233,
234, 237, 239, 253
- Odonata, 131, 234, 253
- Open source*, 253
- overlay, 57, 78, 79, 82, 83, 86, 110,
112, 115, 117, 118, 209, 213,
228, 234, 251, 253
- oviposisi, 131, 234, 253
- ovitrap, 26, 27, 179, 180, 233, 253
- Papua, 8, 47, 172, 180, 200, 253
- patogen, 1, 11, 19, 25, 132, 133, 167,
169, 212, 229, 237, 253
- pemanfaatan lahan, 69, 70, 117,
118, 121, 209, 253
- pemodelan, 57, 82, 83, 86, 91, 94,
95, 214, 250, 253
- pencemaran, 11, 128, 155, 210, 234,
253
- penetrasi, 138, 234, 253
- Plasmodium* sp., 167, 253
- plugin, 70, 253

pollinator, 162, 235, 253
 populasi, 7, 10, 11, 21, 22, 25, 26,
 28, 29, 32, 33, 35, 36, 38, 39,
 40, 41, 46, 51, 55, 56, 57, 58,
 62, 63, 64, 66, 68, 69, 72, 73,
 83, 92, 93, 95, 127, 129, 134,
 136, 137, 148, 167, 170, 179,
 187, 191, 192, 208, 209, 212,
 213, 215, 219, 229, 235, 253
 Posyandu, 60, 173, 253
 predator, 4, 32, 53, 130, 212, 235,
 253
prediction, 57, 253
 prevalensi, 28, 58, 134, 193, 235,
 253
 preventif, 235, 253
 pupa, 3, 4, 28, 36, 38, 84, 129, 130,
 135, 151, 153, 154, 235, 253
 Purworejo, 98, 104, 108, 123, 200,
 253
 Q-GIS, 90, 225, 253
 Query, 253
 radius, 23, 28, 57, 81, 107, 114, 120,
 253
 random, 94, 95, 101, 102, 110, 120,
 252, 253
 reproduksi, 32, 136, 235, 253
 reseptor, 140, 235, 253
 resistansi, 10, 22, 23, 28, 31, 45, 46,
 77, 78, 126, 133, 208, 215,
 235, 253
 resistensi, 49, 51, 52, 53, 253
 resonansi, 153, 236, 253
 SaTScan, 94, 95, 96, 98, 102, 105,
 122, 209, 236, 253
 sedimentasi, 134, 236, 253
 sensilla, 144, 236, 253
 signifikan, 59, 95, 99, 102, 110, 120,
 132, 134, 136, 169, 171, 173,
 174, 176, 185, 190, 191, 194,
 211, 214, 215, 216, 219, 220,
 236, 253
 Sistem Informasi Geografis, 12, 55,
 56, 57, 76, 91, 92, 209, 225,
 226, 243, 253
 Snake Leader Card, 175, 253
 spasiotemporal, 13, 97, 98, 99, 109,
 110, 236, 253
 spesies, 2, 3, 6, 7, 20, 25, 34, 63, 64,
 65, 125, 128, 131, 132, 133,
 134, 140, 142, 151, 155, 160,
 168, 184, 188, 212, 214, 215,
 219, 221, 230, 235, 236, 253
 stratifikasi, 13, 57, 58, 64, 65, 73, 75,
 76, 93, 236, 253
 subtropis, 7, 8, 11, 128, 132, 236,
 253
 sungai, 69, 80, 115, 121, 131, 193,
 233, 253
 surveilans, 13, 58, 59, 62, 63, 65, 66,
 68, 69, 71, 72, 77, 80, 81, 95,
 110, 182, 184, 188, 191, 236,
 250, 253
 temporal, 13, 57, 64, 87, 93, 95, 96,
 99, 105, 122, 123, 228, 236,
 251, 254
 termal, 128, 139, 154, 236, 254
 Thailand, 10, 32, 161, 173, 204, 248,
 249, 254
 Theory of Planned Behaviour, 186,
 254
 topologi, 69, 254

transduser, 149, 237, 254
transmisi, 33, 39, 40, 97, 99, 110,
121, 140, 149, 210, 237, 254
trend, 121, 254
tropis, 7, 8, 11, 125, 128, 132, 134,
159, 169, 227, 237, 239, 254
VazaDengue, 183, 203, 254
vektor, 1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13,
14, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26,
27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34,
35, 36, 38, 39, 40, 42, 43, 44,
45, 46, 47, 48, 51, 52, 55, 56,
57, 58, 60, 63, 64, 65, 66, 69,
71, 77, 83, 84, 86, 89, 90, 92,
97, 121, 125, 126, 127, 130,
132, 133, 134, 136, 137, 138,
153, 154, 155, 156, 159, 165,
166, 167, 168, 171, 172, 173,
174, 179, 181, 182, 183, 186,
187, 188, 190, 191, 194, 195,
199, 207, 208, 209, 210, 211,
212, 213, 214, 215, 216, 217,
218, 219, 220, 221, 222, 237,
239, 240, 241, 242, 244, 254
video, 174, 177, 202, 211, 254
virus, 1, 2, 15, 28, 33, 35, 51, 127,
132, 133, 160, 167, 185, 197,
198, 229, 230, 237, 254
visualisasi, 62, 70, 94, 183, 254
Wolbachia, 10, 50, 170, 176, 179,
185, 199, 200, 222, 237, 254
Wonosobo, 180, 254
Zero Malaria Starts with Me, 176,
177, 254
Zika, 2, 7, 20, 198, 203, 254

Penyakit tular vektor nyamuk sampai saat ini masih menjadi permasalahan kesehatan penting di Indonesia. Iklim tropis yang kondusif untuk perkembangbiakan nyamuk menyebabkan sulitnya pengendalian permasalahan penyakit tular vektor nyamuk ini. Beberapa aspek yang dibahas, meliputi epidemiologi, perkembangan pengendalian vektor nyamuk terkini, pemanfaatan sistem informasi geografis, potensi gelombang ultrasonik jangkrik dalam pencegahan vektor nyamuk, serta peran serta masyarakat dalam upaya bersama menangani permasalahan ini.

Buku *Dinamika Penyakit Tular Vektor Nyamuk di Indonesia* hadir untuk membuka, menginformasikan, dan memberikan wawasan masyarakat mengenai penyakit tular vektor nyamuk, seperti Demam Berdarah Dengue, Malaria, dan Chikungunya. Melalui buku ini dapat menambah khasanah referensi terkait vektor penyakit terutama nyamuk di Indonesia. Diseminasi informasi yang meluas dan semoga dapat memberikan banyak manfaat bagi upaya bersama dalam pencegahan dan pengendalian penyakit tular vektor di Indonesia.

Selamat membaca!

BRIN Publishing
The Legacy of Knowledge

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

DOI: 10.55981/brin.1589



ISBN 978-602-6303-59-2



9 786026 303592

Buku ini tidak diperjualbelikan.