

Editor:
Dr. Suriana Koro, S.P., M.Kes.
Rasmaniar, S.KM., M.Kes.



Epidemiologi Penyakit Tropis di Indonesia

Nurbaiti, Samuel Hadjo, Nancy Sampouw
Wa Ode Nadziyran Urufia, Upik Rahmi, Yunis Veronika Purba
Lestari Rahmah, Dwi Susanti, Farida Murtiani



**Epidemiologi
Penyakit Tropis
di Indonesia**

UU 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Tentang diperhaluskannya Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi

Pendataan Perhalusan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 adalah sebagai berikut:

- penggunaan tujuan selain Ciptaan tersebut untuk Hak Terkait untuk kepentingan pemenuhan sosial yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi sosial;
- Penggunaan Ciptaan tersebut untuk Hak Terkait hanya untuk keperluan penelitian ilmu pengetahuan;
- Penggunaan Ciptaan tersebut untuk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, keolah-olahragaan dan Program yang tidak dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; atau
- penggunaan untuk keperluan penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan yang menggunakan suatu Ciptaan tersebut untuk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pidana Pasal 113

- Setiap Orang yang dengan sengaja hak tersebut tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah);
- Setiap Orang yang dengan sengaja hak tersebut tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 2 (dua) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah);

Epidemiologi Penyakit Tropis di Indonesia

Nurbaiti, Samuel Hadjo, Nancy Sampouw, Wa Ode Nadziyran Urufia
Upik Rahmi, Yunis Veronika Purba, Lestari Rahmah
Dwi Susanti, Farida Murtiani



Penerbit Yayasan Kita Menulis

Epidemiologi Penyakit Tropis di Indonesia

Copyright © Yayasan Kita Menulis, 2025

Penulis:

Nurbaiti, Samuel Hadjo, Nancy Sampouw
Wa Ode Nadziyran Urufia, Upik Rahmi, Yunis Veronika Purba,
Lestari Rahmah, Dwi Susanti, Farida Murtiani

Editor: Dr. Suriana Koro, S.P., M.Kes. & Rasmaniar, S.KM., M.Kes.

Desain Sampul: Devy Dian Pratama, S.Kom.

Penerbit

Yayasan Kita Menulis

Web: kitamenulis.id

e-mail: press@kitamenulis.id

WA: 0813-9680-7167

IKAPI: 044/SUT/2021

Nurbaiti., dkk.

Epidemiologi Penyakit Tropis di Indonesia

Yayasan Kita Menulis, 2025

xiv; 176 hlm; 16 x 23 cm

ISBN: 978-634-260-018-4

Cetakan 1, September 2025

I. Epidemiologi Penyakit Tropis di Indonesia

II. Yayasan Kita Menulis

Katalog Dalam Terbitan

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak maupun mengedarkan buku tanpa

izin tertulis dari penerbit maupun penulis

Kata Pengantar

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga buku dengan judul Epidemiologi Penyakit Tropis di Indonesia dapat tersusun dengan baik. Buku ini hadir sebagai kontribusi dalam memberikan pemahaman komprehensif mengenai konsep dasar epidemiologi, profil penyakit tropis di Indonesia, serta upaya pencegahan dan pengendalian yang relevan dengan kondisi masyarakat saat ini.

Indonesia sebagai negara beriklim tropis memiliki kerentanan tinggi terhadap berbagai penyakit menular, seperti malaria, demam berdarah dengue, tuberkulosis, kusta, serta zoonosis tropis. Faktor iklim, lingkungan, kondisi sosial-ekonomi, hingga perubahan perilaku masyarakat berperan besar dalam dinamika penyebaran penyakit tersebut. Oleh karena itu, kajian epidemiologi menjadi sangat penting untuk memahami hubungan antara host, agent, dan environment, sekaligus merancang strategi pengendalian berbasis bukti ilmiah.

Buku ini dilengkapi dengan pembahasan mendalam mengenai metode pengukuran morbiditas dan mortalitas, analisis faktor risiko, hingga pemanfaatan teknologi modern seperti sistem informasi geografis (SIG) dalam pemetaan penyakit tropis. Dengan demikian, buku ini diharapkan dapat menjadi sumber pengetahuan sekaligus referensi praktis bagi mahasiswa, tenaga kesehatan, peneliti, maupun pemangku kebijakan dalam upaya meningkatkan kesehatan masyarakat Indonesia.

Semoga karya ini dapat memberikan manfaat, menambah wawasan, serta mendorong munculnya inovasi dalam bidang epidemiologi dan kesehatan masyarakat.

September 2025
Penulis

Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xiii

Bab 1 Pengantar Epidemiologi Penyakit Tropis

1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Pengantar Penyakit Tropis	2
1.3 Penyakit Tropis Di Indonesia	4

Bab 2 Konsep Dasar Epidemiologi: Host, Agent and Environment

2.1 Host: Faktor Biologis dan Sosial dalam Rentannya Populasi Terhadap Penyakit Tropis	11
2.2 Agent: Mikroorganisme Penyebab Penyakit Tropis dan Dinamika Evolusinya	14
2.3 Environment: Interaksi Lingkungan Fisik, Iklim, dan Perubahan Lanskap dalam Memengaruhi Penyebaran Penyakit	17
2.4 Pola Penyebaran Penyakit Tropis di Indonesia: Studi Kasus Lokal Berbasis Konsep Host-Agent-Environment.....	20
2.5 Peran Vektor dan Reservoir dalam Ekosistem Penyakit Tropis	23
2.6 Penerapan Konsep Host-Agent-Environment dalam Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Tropis.....	26

Bab 3 Penyakit Tropis di Indonesia: Profil Umum

3.1 Gambaran Umum Epidemiologi Penyakit Tropis di Indonesia.....	29
3.1.1 Kondisi Iklim dan Lingkungan Sebagai Faktor Pendukung Penyakit Tropis	30
3.1.2 Distribusi Geografis dan Pola Penyebaran Penyakit Tropis di Indonesia	31
3.1.3 Beban Penyakit Tropis terhadap Kesehatan Masyarakat	32
3.2 Faktor Risiko dan Determinan Penyakit Tropis.....	34
3.2.1 Determinasi Lingkungan dan Sanitasi	35
3.2.2 Faktor Sosial-Ekonomi dan Perilaku Masyarakat.....	36
3.2.3 Perubahan Iklim dan Perluasan Wilayah Endemis	37

3.3 Penyakit Tropis Utama di Indonesia	38
3.4 Upaya Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Tropis	40
3.4.1 Program Pemerintah dalam Pengendalian Penyakit Tropis	41
3.4.2 Pemanfaatan Teknologi Kesehatan dalam Pengendalian Penyakit Tropis	43
3.4.3 Peran Serta dan Partisipasi Masyarakat dalam Pengendalian Penyakit Tropis	45

Bab 4 Metode Pengukuran Morbiditas dan Mortalitas

4.1 Metode Pengukuran Morbiditas	49
4.1.1 Insidensi	49
4.1.2 Prevalensi	52
4.2 Metode Pengukuran Mortalitas	53
4.2.1 Annual Death Rate	54
4.2.2 Crude Death Rate	54
4.2.3 Specific Death Rate	55
4.2.4 Cause Specific Death Rate	55
4.2.5 Age Specific Death Rate	55
4.2.6 Case Fatality Ratio	56
4.2.7 Perinatal Mortality Rate	56
4.2.8 Neonatal Mortality Rate	57
4.2.9 Postneonatal Mortality Rate	57
4.2.10 Infant Mortality Rate	58
4.2.11 Fetal Death Rate	58
4.2.12 Maternal Mortality Rate	58

Bab 5 Penyakit Tropis: Malaria (Epidemiologi dan Pencegahan)

5.1 Pendahuluan	61
5.2 Pengertian	62
5.3 Etiologi	63
5.4 Epidemiologi	66
5.5 Siklus Parasit Malaria	67
5.5.1 Siklus Pada Manusia	69
5.5.2 Patogenesis Malaria	71
5.5.3 Manifestasi Klinis	74
5.5.4 Gejala Malaria Berat (Malaria Dengan Komplikasi)	76
5.5.5 Diagnosis	77
5.6 Upaya Pencegahan Gigitan Nyamuk Anopheles	80

Bab 6 Penyakit Tropis: Demam Berdarah Dengue (DBD)

6.1 Pendahuluan Penyakit Tropis: DBD.....	83
6.2 Latar Belakang Penyakit Tropis: DBD.....	84
6.3 Pengertian Penyakit Tropis: DBD.....	86
6.4 Etiologi Penyakit Tropis: DBD.....	87
6.5 Manifestasi Klinis Penyakit Tropis: DBD.....	88
6.6 Klasifikasi Penyakit Tropis: DBD.....	89
6.7 Patofisiologi Penyakit Tropis: DBD.....	89
6.8 Pemeriksaan Diagnostik Penyakit Tropis: DBD.....	91
6.9 Komplikasi Penyakit Tropis: DBD.....	93
6.10 Pemeriksaan Penunjang Penyakit Tropis: DBD.....	94

Bab 7 Epidemiologi Tuberkulosis dan Kusta

7.1 Pendahuluan.....	97
7.1.1 Morbiditas dan Mortalitas.....	99
7.1.2 Etiologi.....	100
7.1.3 Cara Penularan.....	100
7.1.4 Faktor Risiko.....	101
7.1.5 Gejala.....	101
7.1.6 Diagnosis.....	102
7.1.7 Surveilans dan pelaporan TB.....	102
7.1.8 Strategi pengendalian TB.....	102
7.2 Epidemiologi Kusta.....	103
7.2.1 Pendahuluan.....	103
7.2.2 Etiologi.....	103
7.2.3 Epidemiologi.....	104
7.2.4 Penularan.....	105
7.2.5 Diagnosa.....	105
7.2.6 Penatalaksanaan.....	106
7.2.7 Pencegahan.....	106

Bab 8 Penyakit Zoonosis Tropis (Rabies, Leptospirosis)

8.1 Pendahuluan.....	107
8.2 Rabies.....	108
8.2.1 Definisi dan Penyebab.....	108
8.2.2 Epidemiologi.....	109
8.2.3 Patofisiologi.....	110
8.2.4 Manifestasi Klinis.....	110
8.2.5 Diagnosis.....	111

8.2.6 Pencegahan dan Pengobatan	111
8.3 Leptospirosis	112
8.3.1 Definisi dan Penyebab.....	112
8.3.2 Epidemiologi.....	112
8.3.3 Patofisiologi	114
8.3.4 Manifestasi Klinis.....	114
8.3.5 Diagnosis.....	115
8.3.6 Pencegahan dan Pengobatan.....	120
Bab 9 Pemanfaatan GIS dan Teknologi untuk Mapping Penyakit	
9.1 Pendahuluan.....	121
9.2 Prinsip Dasar dan Metodologi SIG dalam Epidemiologi	122
9.2.1 Definisi, Fungsi, dan Manfaat SIG.....	123
9.2.2 Analisis Spasial Data Epidemiologi.....	125
9.2.3 Perangkat Lunak GIS dan Fungsinya	129
9.3 Contoh Implementasi GIS dalam Pengendalian Penyakit Tropis	131
9.3.1 Pengendalian Dengue Berdasarkan Studi dari Asia Tenggara.....	132
9.3.2 Pengendalian Malaria: Strategi Stratifikasi dan Situs Sentinel di Afrika.....	133
9.4 Peran Teknologi Pendukung: Penginderaan Jauh dan Aplikasi Seluler..	134
9.4.1 Penginderaan Jauh (Remote Sensing).....	134
9.4.2 Aplikasi Seluler untuk Surveilans Real-time.....	135
9.5 Tantangan dan Hambatan dalam Penerapan SIG di Indonesia.....	136
9.5.1 Masalah Data dan Infrastruktur	136
9.5.2 Keterbatasan Sumber Daya.....	137
9.6 Prospek Masa Depan dan Rekomendasi	137
9.6.1 Tren Teknologi Baru	138
9.6.2 Rekomendasi Kebijakan dan Strategi	138
Daftar Pustaka	141
Biodata Penulis	171

Daftar Gambar

Gambar 4.1: Ilustrasi kasus incidence proportion	50
Gambar 5.1: Siklus hidup Anopheles.....	69
Gambar 5.2: Siklus hidup Plasmodium	71
Gambar 7.1: Mycobacterium tuberculosis.....	100
Gambar 7.2: Mycobacterium leprae.....	104
Gambar 8.1: Struktur Virus Rabies	108
Gambar 8.2: Situasi Rabies di Indonesia Tahun 2013-2023	109
Gambar 8.3: Situasi Leptospirosis di Indonesia Tahun 2013–2023	113
Gambar 8.4: Sel Leptospira	116
Gambar 8.5: Representasi Skematis PCR.....	117
Gambar 8.6: Representasi Skematis MAT	118
Gambar 8.7: Representasi Skematis ELISA.....	119
Gambar 8.8: Representasi Skematis IHA	119
Gambar 9.1: Contoh Pemetaan Titik (Point Mapping).....	128
Gambar 9.2: Contoh Peta Kloroplek (Choropleth Mapping).....	128
Gambar 9.3: Contoh Analisis Kluster (Cluster Analysis).....	128
Gambar 9.4: Contoh Pemetaan Analisis Spatio-Temporal.....	129
Gambar 9.5: Contoh Analisis Pemetaan Faktor Risiko Lingkungan.....	129

Daftar Tabel

Tabel 4.1: Contoh Perhitungan	51
Tabel 9.1: Ringkasan jenis analisis spasial yang relevan dalam epidemiologi...	127

Bab 1

Pengantar Epidemiologi Penyakit Tropis

1.1 Pendahuluan

Epidemiologi merupakan cabang ilmu kesehatan masyarakat yang mempelajari pola distribusi, frekuensi, dan determinan penyakit serta masalah kesehatan lainnya di dalam populasi. Ilmu ini tidak hanya berfokus pada penyebaran penyakit, tetapi juga berupaya memahami penyebab dan faktor-faktor yang memengaruhi timbulnya suatu penyakit, guna mendukung upaya pencegahan dan pengendalian. Dalam konteks penyakit tropis, epidemiologi menjadi alat penting dalam merumuskan strategi kesehatan berbasis data yang akurat dan relevan dengan kondisi lokal. Pendekatan epidemiologis memungkinkan kita untuk mengenali kelompok rentan, memahami dinamika penularan, serta menilai dampak sosial dan ekonomi dari penyakit-penyakit tersebut.

Epidemiologi penyakit tropis merupakan cabang ilmu epidemiologi yang fokus mempelajari sebab akibat penyakit menular yang prevalensinya tinggi di wilayah tropis dan subtropis, terutama di negara-negara berkembang. Penyakit-penyakit ini umumnya berkaitan erat dengan kondisi iklim hangat dan lembap, kemiskinan, sanitasi buruk, serta akses terbatas terhadap pelayanan kesehatan (Hotez et al., 2020). Wilayah tropis seperti Indonesia menjadi kawasan endemis berbagai penyakit infeksi yang ditularkan melalui vektor, kontaminasi lingkungan, atau kontak langsung, sehingga memerlukan pendekatan epidemiologis yang kontekstual dan berkelanjutan.

1.2 Pengantar Penyakit Tropis

Penyakit tropis merupakan sekelompok penyakit menular yang dominan di wilayah beriklim tropis dan subtropis, termasuk di kawasan Asia Tenggara, Afrika, dan Amerika Latin. Indonesia, sebagai negara kepulauan yang terletak di garis khatulistiwa, memiliki iklim panas dan lembap yang sangat mendukung kehidupan dan reproduksi berbagai vektor penyakit seperti nyamuk, lalat, dan siput air. Penyakit-penyakit seperti malaria, demam berdarah dengue, filariasis, leptospirosis, dan schistosomiasis masih menjadi masalah kesehatan masyarakat yang signifikan. Keberadaan penyakit tropis ini diperkuat oleh faktor-faktor seperti urbanisasi yang tidak terencana, kemiskinan, rendahnya akses terhadap layanan kesehatan, serta tantangan dalam pengelolaan lingkungan dan sanitasi.

Penyakit tropis memiliki karakteristik khusus karena sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, iklim, kepadatan penduduk, serta perilaku masyarakat. Daerah tropis dengan suhu dan kelembaban tinggi menjadi tempat yang ideal bagi vektor penyakit seperti nyamuk, lalat, maupun parasit. Oleh sebab itu, pemahaman epidemiologi penyakit tropis tidak hanya mencakup aspek medis, tetapi juga memperhatikan faktor sosial, ekonomi, dan budaya masyarakat. Hal ini menjadikan epidemiologi sebagai

dasar penting dalam upaya promosi kesehatan, surveilans penyakit, hingga program eradikasi (Nurbaiti & Rasyid, 2025).

Penyakit tropis sering dikategorikan sebagai neglected tropical diseases (NTDs) karena minimnya perhatian global, baik dari segi penelitian, pengembangan obat, maupun pendanaan program kesehatan, meskipun penyakit ini memengaruhi lebih dari 1,7 miliar orang di seluruh dunia (WHO, 2023). Di Indonesia, penyakit tropis seperti malaria, demam berdarah dengue (DBD), filariasis limfatik, leptospirosis, schistosomiasis, dan infeksi cacingan masih menjadi masalah kesehatan masyarakat yang signifikan. Karakteristik geografis kepulauan, iklim tropis, dan keragaman sosial-budaya turut memperbesar kompleksitas penyebaran dan pengendaliannya (Kementerian Kesehatan RI, 2023).

Salah satu aspek penting dalam epidemiologi penyakit tropis adalah konsep penyakit tropis terabaikan (neglected tropical diseases/NTDs) yang didefinisikan oleh World Health Organization (WHO) sebagai sekelompok penyakit menular yang menyerang populasi miskin di daerah tropis dan subtropis, sering kali tanpa gejala akut tetapi menyebabkan kecacatan jangka panjang, stigma sosial, dan penurunan produktivitas (WHO, 2023).

WHO mencantumkan 20 penyakit dalam kategori NTDs, termasuk filariasis limfatik, schistosomiasis, trachoma, cacingan tanah (soil-transmitted helminthiasis), dan scabies. Di Indonesia, delapan dari 20 NTDs tersebut masih endemik, terutama di wilayah timur seperti Papua, Nusa Tenggara, dan Maluku (Taryadi et al., 2021). Keberadaan NTDs mencerminkan ketimpangan sosial dan sistem kesehatan yang belum merata, sehingga pendekatan epidemiologis harus mengintegrasikan aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan.

Epidemiologi berperan sentral dalam memahami pola penularan penyakit tropis melalui analisis tiga komponen utama: agen penyebab, host (manusia), dan lingkungan, yang dikenal sebagai epidemiologic triad. Dalam konteks penyakit tropis, faktor ekologis seperti suhu, kelembapan, dan curah hujan sangat memengaruhi siklus hidup vektor seperti nyamuk *Aedes aegypti* dan *Anopheles* spp., yang menjadi perantara utama

penularan DBD dan malaria (Gubler, 2021). Selain itu, perubahan iklim global semakin memperluas distribusi geografis vektor, sehingga daerah yang sebelumnya bebas dari penyakit tropis kini mulai mengalami kasus impor atau transmisi lokal (Rocklöv & Dubrow, 2020).

Determinan sosial kesehatan juga turut memperkuat transmisi penyakit tropis. Kemiskinan, tingkat pendidikan rendah, urbanisasi cepat, dan akses terbatas terhadap air bersih dan sanitasi menjadi faktor risiko utama. Studi di Papua menunjukkan bahwa masyarakat adat di daerah terpencil mengalami insidensi malaria jauh lebih tinggi dibandingkan daerah perkotaan, akibat keterbatasan akses ke kelambu berinsektisida dan fasilitas kesehatan (Utomo et al., 2020). Selain itu, mobilitas penduduk antarwilayah, terutama akibat migrasi atau bencana alam, dapat mempercepat penyebaran patogen ke wilayah baru.

Perubahan iklim merupakan ancaman tambahan yang semakin nyata. Peningkatan suhu rata-rata global memperpanjang musim penularan dan memperluas habitat vektor ke dataran tinggi. Sebagai contoh, nyamuk *Aedes aegypti* kini ditemukan di wilayah Dieng (Jawa Tengah), yang sebelumnya tidak termasuk daerah endemis DBD (Prasetyo et al., 2021). Model prediktif menunjukkan bahwa dengan kenaikan suhu 2°C, lebih dari 2 miliar orang tambahan di dunia akan berada dalam risiko terpapar dengue pada tahun 2080 (Messina et al., 2021).

1.3 Penyakit Tropis Di Indonesia

Beban penyakit tropis di Indonesia masih cukup tinggi. Berdasarkan data Global Burden of Disease (GBD) 2019, penyakit tropis menyumbang sekitar 12% dari total beban penyakit di negara ini (IHME, 2020). Malaria masih endemik di Papua dan Papua Barat dengan lebih dari 180.000 kasus dilaporkan setiap tahun, sementara DBD mencatat lebih dari 100.000 kasus dengan angka kematian sekitar 0,7% (WHO, 2022). Filariasis limfatik masih tersebar di 88 kabupaten, meskipun program pengobatan masal

(MDA) telah berjalan lebih dari satu dekade (Taryadi et al., 2021). Penyakit seperti leptospirosis juga sering muncul pasca-banjir, terutama di wilayah perkotaan padat seperti Jakarta (Setianingsih et al., 2020).

Metodologi epidemiologi berperan krusial dalam memahami dinamika penularan penyakit tropis. Pendekatan deskriptif, analitik, dan eksperimental digunakan untuk mengidentifikasi pola spasial dan temporal, menguji hipotesis tentang faktor risiko, serta mengevaluasi efektivitas intervensi. Misalnya, studi kasus-kontrol telah digunakan untuk mengidentifikasi bahwa genangan air di lingkungan rumah merupakan faktor risiko utama DBD di perkotaan (Sofian et al., 2022), sementara studi kohort longitudinal membantu melacak progresi infeksi malaria pada populasi migran di perkebunan Papua (Utomo et al., 2020). Selain itu, studi ekologi (ecological studies) sering digunakan untuk menganalisis hubungan antara variabel lingkungan (seperti curah hujan dan suhu) dengan insidensi penyakit, meskipun perlu hati-hati terhadap ecological fallacy.

Pemahaman tentang rantai penularan (chain of transmission) sangat penting dalam epidemiologi penyakit tropis. Rantai ini meliputi sumber infeksi (reservoir), cara keluarnya patogen (portal of exit), mekanisme penularan (vektor, air, tanah), portal masuk ke inang baru, dan kerentanan inang. Sebagai contoh, pada leptospirosis, hewan seperti tikus berperan sebagai reservoir, patogen *Leptospira* keluar melalui urin, mencemari air atau tanah, dan masuk ke manusia melalui kulit terluka atau selaput lendir (Setianingsih et al., 2020). Dalam konteks filariasis, nyamuk *Culex* dan *Anopheles* bertindak sebagai vektor yang mengangkut mikrofilaria dari manusia terinfeksi ke individu sehat. Pemutusan rantai ini menjadi dasar intervensi, seperti pengendalian vektor, pengobatan massal, atau modifikasi perilaku.

Salah satu pendekatan modern dalam epidemiologi penyakit tropis adalah surveilans berbasis bukti dan responsif (evidence-based surveillance). Surveilans tidak hanya mencatat jumlah kasus, tetapi juga menganalisis data untuk mendeteksi dini wabah, memetakan kluster risiko tinggi, dan mengarahkan intervensi secara tepat sasaran.

Di Indonesia, sistem e-PPKS (Elektronik Pelaporan Penyakit Berbasis Puskesmas) mulai diterapkan, meskipun tantangan seperti keterlambatan pelaporan dan kelengkapan data masih sering terjadi (Kementerian Kesehatan RI, 2023). Integrasi teknologi seperti GIS (Geographic Information System) memungkinkan pemetaan spasial kasus DBD atau malaria, sehingga petugas kesehatan dapat mengidentifikasi hotspot dan fokuskan fogging atau distribusi kelambu berinsektisida (Permatasari et al., 2021).

Faktor lingkungan dan perubahan penggunaan lahan juga turut memperburuk penyebaran penyakit tropis. Deforestasi, pembukaan lahan perkebunan, dan proyek infrastruktur sering kali mengganggu ekosistem alami dan mendekatkan manusia dengan hewan vektor atau reservoir. Di Kalimantan dan Sumatera, pembukaan hutan untuk perkebunan kelapa sawit dikaitkan dengan peningkatan kasus malaria dan leptospirosis akibat perubahan habitat nyamuk dan tikus (Lambin et al., 2020). Studi menunjukkan bahwa daerah dengan deforestasi >20% memiliki risiko malaria 2,5 kali lebih tinggi dibandingkan hutan utuh (Stanistreet et al., 2021).

Aspek budaya dan kepercayaan lokal juga menjadi determinan penting dalam epidemiologi penyakit tropis. Di beberapa daerah adat di Papua dan Maluku, masyarakat cenderung menggunakan pengobatan tradisional dan enggan datang ke fasilitas kesehatan, sehingga kasus sering terlambat dilaporkan (Utomo et al., 2020). Selain itu, kebiasaan mandi di sungai atau sawah meningkatkan risiko terpapar cacing trematoda atau *Leptospira*. Intervensi yang tidak mempertimbangkan konteks budaya sering gagal, sehingga pendekatan partisipatif dan berbasis komunitas menjadi kunci keberhasilan program kesehatan.

Dalam konteks kebijakan, WHO telah meluncurkan NTD Roadmap 2030, yang menargetkan pengendalian, eliminasi, atau eradikasi berbagai penyakit tropis terabaikan melalui pendekatan kolaboratif, inovasi, dan pemerataan akses (WHO, 2023). Indonesia telah berkomitmen untuk mencapai eliminasi filariasis limfatik pada 2030 dan malaria pada 2030 di wilayah

tertentu. Namun, pencapaian ini memerlukan pendanaan berkelanjutan, koordinasi lintas sektor, dan penguatan sistem kesehatan primer. Evaluasi program oleh epidemiolog menunjukkan bahwa integrasi program DBD, malaria, dan filariasis karena memiliki vektor serupa dapat meningkatkan efisiensi hingga 30% (Taryadi et al., 2021).

Salah satu aspek krusial dalam epidemiologi penyakit tropis adalah keterbatasan data berkualitas, terutama di negara berpenghasilan rendah dan menengah seperti Indonesia. Banyak kasus tidak terdiagnosis atau tidak dilaporkan karena sistem pelaporan yang lemah, akses terbatas ke fasilitas kesehatan, serta kurangnya kapasitas laboratorium di daerah terpencil. Fenomena ini dikenal sebagai "iceberg phenomenon", di mana hanya sebagian kecil dari total kasus yang terlihat dalam data resmi, sementara mayoritas tetap tidak terdeteksi (Hotez et al., 2020).

Misalnya, infeksi cacingan (soil-transmitted helminthiasis) di pulau-pulau kecil Nusa Tenggara sering tidak tercatat secara akurat karena kurangnya survei rutin, padahal diperkirakan lebih dari 30% anak usia sekolah terinfeksi (Taryadi et al., 2021). Oleh karena itu, pendekatan seperti surveilans aktif (active surveillance) dan penapisan massal (screening campaigns) sangat penting untuk mendapatkan gambaran epidemiologis yang lebih akurat.

Pendekatan One Health juga semakin diakui sebagai kerangka kerja penting dalam epidemiologi penyakit tropis. Konsep ini menekankan keterkaitan erat antara kesehatan manusia, hewan, dan lingkungan. Banyak penyakit tropis bersifat zoonosis, artinya dapat ditularkan dari hewan ke manusia, seperti leptospirosis (dari tikus), melioidosis (dari tanah terkontaminasi hewan), dan rabies (dari anjing liar).

Di Indonesia, kasus melioidosis meningkat di Kalimantan dan Sulawesi, terutama setelah banjir, karena *Burkholderia pseudomallei* yang hidup di tanah dan air tergenang dapat menginfeksi petani atau pekerja lapangan (Currie et al., 2020). Pendekatan One Health mendorong kolaborasi antara sektor kesehatan manusia, kesehatan hewan (veteriner), dan pengelolaan

lingkungan untuk mencegah penularan lintas spesies dan mengatasi akar penyebab ekologis penyakit.

Dari sisi kebijakan, komitmen politik dan pendanaan berkelanjutan menjadi penentu utama keberhasilan. Meskipun Indonesia telah membuat kemajuan dalam pengendalian malaria dan filariasis, fluktuasi anggaran kesehatan dan perubahan prioritas pemerintah sering mengganggu konsistensi program. WHO (2023) menyarankan agar negara-negara endemis menyusun rencana aksi nasional (national action plans) yang terintegrasi, dengan indikator kinerja jelas dan mekanisme evaluasi tahunan. Kolaborasi dengan sektor swasta, lembaga internasional (seperti Global Fund, WHO, dan UNICEF), serta organisasi masyarakat sipil juga penting untuk memperkuat kapasitas dan inovasi.

Kapasitas sistem kesehatan juga menentukan keberhasilan intervensi epidemiologis. Di banyak daerah terpencil di Indonesia, keterbatasan tenaga kesehatan, logistik, dan infrastruktur menghambat pelaksanaan program pengendalian. Sebagai contoh, distribusi obat untuk MDA filariasis di kepulauan Maluku sering tertunda karena keterbatasan transportasi laut (Taryadi et al., 2021). Selain itu, turnover tenaga epidemiolog dan kader kesehatan yang tinggi mengganggu kontinuitas program. Oleh karena itu, penguatan sistem kesehatan berbasis komunitas (community-based health systems) dan pelatihan berkelanjutan menjadi prioritas untuk memastikan keberlanjutan surveilans dan respons wabah.

Pendekatan intervensi terpadu (integrated disease control) juga semakin dianjurkan. Karena banyak penyakit tropis memiliki vektor atau determinan lingkungan yang serupa, penggabungan program dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas. Misalnya, kegiatan pemberantasan sarang nyamuk (PSN) yang dirancang untuk DBD juga efektif mengurangi risiko chikungunya dan Zika. Demikian pula, program sanitasi dan air bersih (WASH) yang ditujukan untuk mengurangi cacingan juga dapat mencegah schistosomiasis dan leptospirosis (WHO, 2023). Di Yogyakarta, integrasi program DBD dan malaria melalui fogging bersama dan edukasi

masyarakat meningkatkan cakupan intervensi hingga 40% dibandingkan program terpisah (Permatasari et al., 2021).

Selain itu, epidemiologi penyakit tropis juga berperan dalam mendukung kebijakan kesehatan masyarakat melalui data dan bukti ilmiah yang akurat. Dengan adanya pemetaan kasus, analisis data, serta interpretasi hasil penelitian, pemerintah dan tenaga kesehatan dapat mengambil keputusan yang tepat dalam mengalokasikan sumber daya, melaksanakan program intervensi, serta meningkatkan kesadaran masyarakat. Dengan demikian, penguasaan ilmu epidemiologi penyakit tropis sangat penting untuk mewujudkan masyarakat yang sehat, produktif, dan terbebas dari ancaman penyakit menular endemis (Nurbaiti & Rasyid, 2025).

Kesimpulannya, epidemiologi penyakit tropis bukan hanya ilmu deskriptif, tetapi alat strategis untuk mengendalikan beban penyakit di wilayah tropis seperti Indonesia. Dengan memadukan data ilmiah, teknologi, dan partisipasi masyarakat, pengendalian penyakit tropis dapat dicapai secara berkelanjutan. Masa depan pengendalian penyakit tropis terletak pada integrasi program, inovasi berbasis bukti, dan penguatan sistem kesehatan di tingkat lokal.

Dengan memahami prinsip-prinsip dasar epidemiologi dan aplikasinya dalam konteks penyakit tropis, pembaca diharapkan mampu mengembangkan pemahaman kritis terhadap berbagai isu kesehatan masyarakat yang relevan di Indonesia. Buku ini disusun untuk memberikan landasan ilmiah dan praktis bagi mahasiswa, tenaga kesehatan, peneliti, dan pembuat kebijakan dalam menangani tantangan penyakit tropis secara lebih efektif.

Melalui penyajian konsep-konsep epidemiologi yang terintegrasi dengan studi kasus di Indonesia, pembaca akan diajak untuk melihat bagaimana ilmu epidemiologi dapat digunakan sebagai alat utama dalam mengendalikan dan mencegah penyakit-penyakit yang masih menjadi beban besar bagi sistem kesehatan nasional.

Bab 2

Konsep Dasar Epidemiologi: Host, Agent and Environment

2.1 Host: Faktor Biologis dan Sosial dalam Rentannya Populasi Terhadap Penyakit Tropis

Faktor biologis manusia sebagai host dalam epidemiologi penyakit tropis sangat menentukan tingkat rentan terhadap infeksi. Genetik, usia, jenis kelamin, dan status kesehatan dasar seperti stunting dan anemia memiliki peran sentral dalam menentukan respons imun dan keparahan penyakit. Dalam konteks Indonesia yang kaya keragaman genetik dan kondisi epidemiologi unik, individu dengan predisposisi genetik tertentu, seperti kelainan gen HBB (sickle cell), dapat menunjukkan perlindungan alami terhadap malaria, meski ini juga berisiko dalam kondisi lain (Kemenkes, 2022).

Usia merupakan salah satu variabel paling kritis dalam menentukan kerentanan terhadap penyakit tropis. Balita di bawah usia 5 tahun, terutama yang mengalami stunting dan anemia, memiliki sistem imun yang belum berkembang optimal sehingga lebih rentan terhadap infeksi berat. Menurut data BPS (2023), prevalensi stunting di Indonesia mencapai 24,4% pada anak usia 5 tahun, yang secara langsung melemahkan ketahanan tubuh terhadap patogen seperti Plasmodium dan virus dengue.

Jenis kelamin juga memengaruhi respon terhadap penyakit tropis. Studi di Papua menunjukkan bahwa laki-laki memiliki laju infeksi malaria lebih tinggi daripada perempuan, diduga karena pola perilaku seperti aktivitas eksternal di area endemik dan paparan vektor yang lebih tinggi (Amin et al., 2022). Selain itu, perempuan usia subur sering mengalami anemia akibat kehamilan dan menstruasi, sehingga rentan terhadap infeksi berat jika terpapar patogen tropis.

Stunting, sebagai indikator kronis kekurangan gizi, memiliki dampak sistemik terhadap respons imun. Anak dengan stunting mengalami gangguan fungsi sel T dan berkurangnya produksi antibodi. Penelitian oleh Universitas Indonesia menunjukkan bahwa bayi dengan stunting memiliki risiko 2,3 kali lebih tinggi terkena infeksi berat dibandingkan anak berbobot normal (Sari et al., 2021).

Anemia, terutama anemia besi, merupakan masalah kesehatan yang sangat menonjol di Indonesia, terutama pada anak usia prasekolah dan ibu hamil. Kekurangan besi mengganggu produksi hemoglobin dan juga berdampak pada fungsi sel imun. Penelitian yang dilakukan di Jawa Barat membuktikan bahwa anak-anak dengan anemia memiliki tingkat infeksi dengue yang lebih tinggi dan durasi gejala yang lebih lama (Puspitasari et al., 2020).

Faktor genetik juga memengaruhi sensitivitas terhadap penyakit tropis. Mutasi HBB (sickle cell trait) yang melindungi terhadap malaria jenis *P. falciparum* ditemukan cukup tinggi di daerah endemik seperti Papua dan Sulawesi. Hal ini menunjukkan bahwa seleksi alam telah membentuk kerentanan genetik yang berkaitan langsung dengan lingkungan dan

penyakit yang dominan (Amin et al., 2022). Namun, individu dengan kelainan genetik ini juga berisiko komplikasi seperti anemia hemolitik.

Sistem imun yang lemah akibat faktor biologis menyebabkan tubuh tidak mampu mengekang replikasi patogen secara efisien. Pada pasien malaria, infeksi yang berulang dapat menyebabkan penghancuran sel darah merah berlebihan, yang lebih parah pada individu dengan kekurangan nutrisi. Pemulihan terhambat karena kekurangan sumber daya energi dan protein untuk regenerasi sel (Kemenkes, 2022).

Di sisi lain, konteks sosial juga sangat menentukan respon tubuh terhadap penyakit tropis. Akses terhadap layanan kesehatan yang terbatas, terutama di daerah terpencil seperti Papua dan Nusa Tenggara, menyebabkan diagnosa terlambat dan pengobatan tidak optimal. Akibatnya, infeksi berkembang menjadi komplikasi serius, termasuk anemia berat dan stroke pada kasus malaria (WHO, 2023).

Perilaku hidup dan sanitasi rumah tangga berkontribusi besar terhadap kerentanan. Rumah tanpa jaring nyamuk, air terbuka yang memungkinkan perkembangbiakannya, dan sanitasi buruk menciptakan lingkungan yang menaikkan paparan terhadap vektor penyakit. Penelitian oleh Universitas Hasanuddin menunjukkan bahwa keluarga dengan perilaku pembersihan genangan air secara rutin memiliki risiko DBD 58% lebih rendah (Rasyid et al., 2021).

Pendidikan dan literasi kesehatan juga berperan dalam menentukan tingkat kewaspadaan terhadap gejala dan waktu kunjung ke fasilitas kesehatan. Masyarakat dengan tingkat pendidikan rendah cenderung mengabaikan gejala awal seperti demam berkepanjangan, yang mengakibatkan penundaan pengobatan dan penyebaran infeksi lebih luas (Putri et al., 2022).

Program BIAN (Bayi Andalan Indonesia) yang dicanangkan oleh Kemenkes menekankan pentingnya penguatan imun pada balita melalui imunisasi dan asupan gizi seimbang. Inisiatif ini secara langsung bertujuan

memperkuat host melalui intervensi biologis dan sosial, yang sangat relevan dalam membangun ketahanan terhadap penyakit tropis (Kemenkes, 2022).

Intervensi berbasis komunitas seperti Sosialisasi Kesehatan Lingkungan (SKL) dan kader posyandu sangat efektif dalam mengubah perilaku dan meningkatkan akses layanan kesehatan. Data dari Jawa Timur menunjukkan bahwa desa dengan program SKL aktif mengalami penurunan 40% kasus malaria dalam 3 tahun terakhir (Pemda Jawa Timur, 2023).

Dengan sinergi antara pemahaman biologis (genetik, usia, kesehatan dasar) dan intervensi sosial (akses layanan, edukasi, perilaku), pendekatan host-centered dalam epidemiologi tropis di Indonesia menjadi semakin komprehensif. Ini menunjukkan bahwa memperkuat host bukan hanya soal kekebalan tubuh, tetapi juga soal sistem sosial dan kesehatan yang inklusif dan berkelanjutan (Sari et al., 2021; WHO, 2023).

2.2 Agent: Mikroorganisme Penyebab Penyakit Tropis dan Dinamika Evolusinya

Plasmodium spp. merupakan protozoa intraseluler yang menular melalui gigitan nyamuk Anopheles. Adaptasi termal yang tinggi memungkinkan parasit ini menyelesaikan siklus hidupnya pada suhu tubuh inang (37 °C) dan suhu lingkungan tropis (25-30 °C) yang mempercepat perkembangan sporozoit dalam vektor (WHO, 2023). Di wilayah Indonesia, *P. falciparum* dan *P. vivax* masih menjadi penyebab utama malaria, dengan variasi genetik yang berperan dalam kemampuan parasit menghindari respons imun host (Brady et al., 2019).

Evolusi resistensi obat antimalaria, terutama terhadap artemisinin, didorong oleh mutasi pada gen *kelch13*. Studi di Papua dan Nusa Tenggara menunjukkan prevalensi mutasi ini meningkat dari 3% (2016) menjadi

12% (2022) (Kemenkes, 2022). Tekanan seleksi ini dipicu oleh penggunaan obat yang tidak tepat dan kurangnya kepatuhan terapi, faktor sosial-ekologis yang mempercepat persebaran gen resistansi.

Virus dengue (Flaviviridae) memiliki empat serotipe (DENV-1–4) yang bersaing dalam populasi manusia. Lingkungan tropis dengan suhu $>28^{\circ}\text{C}$ dan kelembapan $>80\%$ meningkatkan replikasi virus dalam *Aedes aegypti* dan memperpendek masa inkubasi ekstrinsik (EIP) menjadi 7-9 hari (Gubler, 2011). Di Indonesia, wabah DBD meningkat tajam pada musim hujan, mencerminkan hubungan erat antara iklim mikro dan dinamika transmisi (Kemenkes, 2021).

Evolusi antigenik dengue, terutama pada domain III dari protein E, menghasilkan kemampuan virus menghindari antibodi pre-existing (Katzelnick et al., 2017). Siklus imunologis ini dapat memicu antibody-dependent enhancement (ADE), yang meningkatkan risiko dengue berat pada infeksi sekunder, menambah kompleksitas kontrol epidemiologis.

Virus chikungunya (Togaviridae) menyebar melalui vektor *Aedes* yang sama dengan dengue, namun mutasi pada gen E1-A226V meningkatkan efisiensi penularan pada *Aedes albopictus* yang lebih tahan terhadap suhu dingin (Bausch et al., 2020). Di wilayah tropis Indonesia, perubahan iklim memungkinkan ekspansi geografis *A. albopictus*, sehingga meningkatkan risiko penyebaran chikungunya pada daerah previously non-endemic.

Resistensi terhadap antiviral belum meluas pada chikungunya, namun paparan berulang terhadap obat anti-inflamasi non-steroid (NSAID) dan antibiotik empiris meningkatkan risiko komplikasi kronis (e.g., arthritis). Studi di Jawa Barat mengidentifikasi mutasi pada gen nsP2 yang berpotensi memodulasi virulensi (Silva-Sousa et al., 2022).

Bakteri *Mycobacterium leprae*, penyebab lepra, merupakan agen dengan pertumbuhan sangat lambat (doubling time ≈ 14 hari). Keberlangsungan mikroorganisme ini di iklim tropis dipengaruhi oleh suhu tubuh inang ($\approx 33-35^{\circ}\text{C}$ pada kulit) dan kelembapan tinggi yang memperlambat

kerusakan kulit, memfasilitasi penyebaran melalui droplet dan kontak kulit-ke-kulit (WHO, 2022). Di Indonesia, konsentrasi kasus tertinggi masih terdapat di Pulau Sumatera dan Kalimantan.

Resistensi terhadap dapson, rifampicin, dan clofazimine (MDT) muncul akibat mutasi pada gen *folP1* dan *rpoB*. Surveillance di Nusa Tenggara Timur melaporkan peningkatan 8% isolat dengan mutasi *rpoB* antara 2018-2021 (Silalahi et al., 2021). Faktor kebijakan kesehatan yang tidak konsisten, seperti pemberian monoterapi, memperparah fenomena ini.

Cacing helm *Ascaris lumbricoides* merupakan helminth tanah yang bertahan melalui siklus telur yang tahan terhadap kondisi keras. Suhu tinggi ($\geq 28^\circ\text{C}$) dan kelembapan $> 70\%$ mempercepat embriogenesis pada tanah, meningkatkan infeksi pada populasi dengan sanitasi terbatas (Simpson, 2020). Di Indonesia, prevalensi infeksi pada anak usia sekolah mencapai 22% (Kemenkes, 2020).

Evolusi resistensi anti-helminthik pada *Ascaris* terutama terhadap albendazol dan mebendazol disebabkan oleh mutasi pada gen β -tubulin (codon 200). Penelitian di Sulawesi menunjukkan frekuensi alel tahan meningkat dari 5% (2015) menjadi 18% (2022) setelah program mass drug administration (MDA) (Rohman et al., 2023). Tekanan seleksi ini terkait erat dengan frekuensi pemberian obat yang tinggi dalam program kontrol NTD.

Wuchereria bancrofti, cacing filaria penyebab LF (filariasis limfatik), ditularkan oleh nyamuk *Culex* dan *Anopheles*. Siklus larva (L3) dalam vektor mencapai kematangan lebih cepat pada suhu $27-30^\circ\text{C}$, mempercepat transmisi pada musim hujan (Mabey & Djuardi, 2019). Di daerah tropis Indonesia, prevalensi microfilaremia masih tinggi di Nusa Tenggara Barat ($\approx 12\%$) meskipun program DEC-MDA telah berlangsung selama dua dekade.

Resistensi terhadap dektoposit (DEC) dan ivermectin pada *W. bancrofti* muncul melalui mutasi pada gen β -tubulin dan glutamate-gated chloride channel (Liu et al., 2021). Studi di daerah endemik Papua menunjukkan penurunan efektivitas DEC-MDA sebesar 15% dalam mengurangi

prevalensi microfilariaemia, menandakan perlunya rotasi atau kombinasi obat.

Secara keseluruhan, dinamika evolusi agen tropis dipengaruhi oleh kombinasi faktor iklim (suhu tinggi, kelembapan tinggi) yang mempercepat siklus hidup dalam vektor, serta tekanan seleksi farmakologis yang timbul dari penggunaan berulang obat. Intervensi yang efektif harus mengintegrasikan surveilans molekuler untuk mendeteksi mutasi resistansi, peningkatan sanitasi untuk mengurangi paparan helm, dan pendekatan One Health yang menghubungkan perubahan iklim, perilaku manusia, dan biologi agen (WHO, 2023; Kemenkes, 2022).

2.3 Environment: Interaksi Lingkungan Fisik, Iklim, dan Perubahan Lanskap dalam Memengaruhi Penyebaran Penyakit

Iklim tropis ditandai oleh dua fase utama musim hujan yang lebat dan musim kemarau yang kering. Pada musim hujan, curah hujan yang tinggi meningkatkan jumlah genangan air sementara (puddle, lahan irigasi, wadah terbuka) yang menjadi tempat bertelur dan berkembang biak bagi nyamuk *Aedes*, *Anopheles*, dan *Culex*. Setelah hujan berhenti, populasi vektor biasanya melonjak dalam 2-3 minggu, menciptakan “puncak” transmisi malaria, dengue, dan chikungunya (Murray et al., 2019). Sebaliknya, musim kemarau dapat memaksa manusia dan vektor berkumpul di sumber air terbatas, memperbesar peluang kontak manusia-vektor (Gubler, 2011).

Kelembapan relatif tinggi pada iklim tropis memperpanjang umur nyamuk dewasa dan meningkatkan frekuensi mencari darah (host-seeking). Pada suhu 25-30 °C dan kelembapan > 80 %, periode inkubasi ekstrinsik (EIP) virus dalam nyamuk dapat dipersingkat dari 12 menjadi 7 hari,

mempercepat siklus penyebaran penyakit (Kilpatrick et al., 2008). Oleh karena itu, wilayah dengan kelembapan stabil selama sepanjang tahun, seperti pesisir Sumatra dan Kalimantan, menjadi “hotspot” endemik vektor.

Keberadaan genangan air permanen, seperti rawa, danau buatan, serta sistem drainase yang buruk, menciptakan habitat ideal bagi larva nyamuk serta siput intermediat (seperti *Biomphalaria* spp.) yang menjadi inang perantara schistosomiasis. Penelitian di daerah Jawa Barat menunjukkan korelasi positif antara luas area genangan (>0,5 ha) dan kasus schistosomiasis pada penduduk setempat (Kemenkes, 2020).

Deforestasi mengubah struktur vegetasi dan iklim mikro secara drastis. Penebangan hutan mengurangi predator alami nyamuk, membuka lahan pertanian atau perkebunan yang menyediakan kolam kecil dan akumulasi air, serta meningkatkan interaksi manusia-vektor. Sebuah meta-analisis lintas-regional menemukan peningkatan risiko malaria hingga 30% pada daerah dengan kehilangan hutan >20% dalam 5 tahun terakhir (Vittor et al., 2006).

Urbanisasi cepat di kawasan tropis menimbulkan “kota panas” (urban heat islands) yang meningkatkan suhu mikro-lingkungan beberapa derajat Celsius dibandingkan daerah rural. Suhu lebih tinggi mempercepat siklus hidup nyamuk dan meningkatkan produksi telur (Kearney & Porter, 2005). Selain itu, kepadatan penduduk tinggi, sanitasi yang buruk, dan akumulasi sampah plastik menjadi wadah ideal bagi *Aedes aegypti*, memperluas zona transmisi dengue di kota-kota besar Indonesia (Prasad et al., 2022).

Perubahan penggunaan lahan, misalnya konversi hutan menjadi lahan pertanian atau permukiman, menciptakan ekosistem ekotonal yang mendukung banyak spesies vektor. Lahan pertanian padi yang dibiarkan tergenang selama masa tanam menghasilkan “polder” yang menjadi sarang nyamuk *Anopheles*, meningkatkan risiko malaria di daerah pedesaan (Manguin et al., 2005). Di sisi lain, penanaman kelapa sawit yang membutuhkan kanal irigasi dapat memperluas habitat bagi nyamuk *Culex quinquefasciatus*, vektor filariasis.

Meskipun kupu-kupu tidak secara langsung menularkan penyakit manusia, perubahan komposisi komunitas kupu-kupu sering menjadi indikator perubahan ekologi yang memengaruhi vektor lain. Penurunan spesies kupu-kupu sensitif terhadap deforestasi mencerminkan hilangnya predasi alami pada larva nyamuk, sehingga meningkatkan populasi vektor (Thomas et al., 2004).

Perubahan iklim global memperluas rentang geografis vektor ke wilayah yang sebelumnya tidak cocok. Pemanasan 1-2 °C dapat menggeser batas distribusi *Anopheles* dari dataran rendah ke dataran tinggi (> 1500 m dpl) di Indonesia, membuka potensi transmisi malaria di daerah pegunungan (Ryan et al., 2015). Selain itu, pola curah hujan yang lebih intens dan tidak menentu menyebabkan munculnya genangan air baru di daerah yang dulunya kering, memicu wabah penyakit vektor baru (IPCC, 2022).

Dampak kombinasi antara perubahan iklim, urbanisasi, dan deforestasi mengakibatkan “seasonality shift”, di mana musim transmisi penyakit vektor memanjang atau menjadi bulanan sepanjang tahun. Contohnya, Indonesia mengalami peningkatan kasus demam berdarah pada bulan-bulan tradisionalnya yang biasanya kering, seiring dengan perubahan pola hujan yang lebih merata (WHO, 2023).

Untuk mengurangi risiko kesehatan masyarakat, pendekatan One Health yang mengintegrasikan pengelolaan lingkungan, pengendalian vektor, dan layanan kesehatan menjadi krusial.

Strategi adaptasi meliputi:

1. Perbaikan sistem drainase dan penutupan wadah penampungan air,
2. Restorasi zona penyangga hutan,
3. Implementasi kebijakan tata ruang yang mempertimbangkan risiko vektor,
4. Surveilans ekologi vektor yang terhubung dengan sistem informasi kesehatan (WHO).

Kesimpulannya, interaksi kompleks antara iklim tropis, kelembapan, genangan air, deforestasi, urbanisasi, dan perubahan penggunaan lahan membentuk mosaik risiko penyakit menular berbasis vektor. Perubahan iklim memperkuat dinamika ini dengan memperluas wilayah endemisitas dan memperpanjang musim transmisi. Pendekatan berbasis bukti yang menggabungkan data lingkungan, iklim, dan kesehatan akan memfasilitasi kebijakan mitigasi dan adaptasi yang efektif di tingkat lokal dan nasional.

2.4 Pola Penyebaran Penyakit Tropis di Indonesia: Studi Kasus Lokal Berbasis Konsep Host-Agent-Environment

Indonesia, sebagai negara kepulauan tropis, memperlihatkan heterogenitas geografis yang kuat sehingga pola penyebaran penyakit menular berbasis vektor sangat dipengaruhi interaksi Host-Agent-Environment (HAE). Data Kementerian Kesehatan (2024) mencatat lebih dari 1,2 juta kasus penyakit tropis dalam lima tahun terakhir, dengan konsentrasi tinggi di wilayah perkotaan padat, daerah pegunungan, serta wilayah dengan tingkat deforestasi tinggi. Pendekatan HAE memungkinkan pemetaan faktor-faktor risiko spesifik pada setiap lokasi sehingga strategi pengendalian dapat disesuaikan (WHO, 2023).

Pada tahun 2023, DKI Jakarta melaporkan 47.834 kasus demam berdarah (DBD), peningkatan 18% dibandingkan tahun sebelumnya (Kemenkes, 2024). Sebagian besar kasus terjadi di distrik Kebayoran Baru, Tangerang, dan Cengkareng, yang merupakan daerah permukiman padat dengan sanitasi buruk. Analisis spasial menunjukkan korelasi positif antara kepadatan penduduk ($> 10\,000$ jiwa/km²) dan jumlah tempat penampungan air terbuka, media perkembangbiakan larva *Aedes aegypti* (Prasad et al., 2022).

Populasi anak usia 5-15 tahun merupakan kelompok paling rentan terhadap DBD karena perilaku bermain di luar ruangan dan kurangnya perlindungan pribadi (Gubler, 2011). Surveillance data menunjukkan bahwa 63% kasus DBD di Jakarta melibatkan anak dalam rentang usia ini (Kemenkes, 2024). Faktor imunologis, seperti tingkat antibodi yang belum optimal terhadap semua serotipe dengue, memperparah kerentanan (Simmons et al., 2012).

Molekul virologi yang dominan pada wabah 2023 adalah serotipe 3 (DENV-3), yang diketahui memiliki virulensi lebih tinggi dan meningkatkan risiko dengue berat (Halstead, 2017). Analisis sekuens DNA virus yang diisolasi dari pasien Jakarta menunjukkan heterogenitas genetik rendah, menandakan penyebaran satu kluster genetik yang berasal dari wilayah Sumatra (Kaur et al., 2023). Keberadaan serotipe ini menuntut vaksinasi yang mencakup semua empat serotipe (WHO, 2022).

Kondisi iklim tropis dengan suhu rata-rata 27 °C dan kelembapan >80% mempercepat siklus hidup *Aedes* serta memperpendek masa inkubasi ekstrinsik virus (Kilpatrick et al., 2008). Urban heat island di Jakarta menambah suhu mikro-lingkungan hingga 2-3 °C, meningkatkan reproduksi nyamuk (Kearney & Porter, 2005). Penurunan kualitas sanitasi, terutama pembuangan sampah plastik yang berfungsi sebagai wadah perkumpulan larva, memperluas wilayah transmisi (Gubler, 2011).

Papua tetap menjadi hotspot malaria di Indonesia, dengan 45.712 kasus pada tahun 2022 (Kemenkes, 2024). Penyebaran terutama di daerah Kabupaten Jayawijaya dan Pegunungan Bintang, dimana penduduk tinggal di rumah tradisional dengan pintu-jendela terbuka, memfasilitasi kontak dengan nyamuk *Anopheles koliensis*. Data survei entomologi menunjukkan intensitas penularan (EIR) mencapai 12 gigitan/man-hari, jauh di atas ambang WHO (15 gigitan/man-tahun) (Manguin et al., 2005).

Penduduk usia 0-14 tahun di Papua memiliki risiko infeksi malaria tiga kali lipat dibandingkan dewasa (Kemenkes, 2024). Tingkat kekebalan yang rendah, kombinasi dengan malnutrisi (prevalensi stunting 28%),

menurunkan kemampuan respon imun (WHO, 2022). Selain itu, praktik budaya tidur di luar rumah pada malam hari meningkatkan paparan gigitan nyamuk.

Sebagian besar kasus malaria di Papua disebabkan oleh *Plasmodium falciparum* (68%) dengan sisa *P. vivax* (32%). Strain *P. falciparum* yang dominan menunjukkan resistensi terhadap artemisinin pada wilayah Puncak Jaya, mengindikasikan kebutuhan terapi kombinasi yang lebih kompleks (Dondorp et al., 2017). Analisis genetik menyebutkan adanya mutasi K13 yang terkait dengan resistensi (WHO, 2023).

NTB mencatat 1 842 kasus baru leprasis pada periode 2020-2022, dengan konsentrasi di Kabupaten Lombok Barat dan Sumbawa (Kemenkes, 2024). Penyakit ini tidak berhubungan dengan vektor, namun faktor lingkungan seperti kepadatan penduduk dan kurangnya akses layanan kesehatan memperpanjang periode penularan. Studi lapangan menunjukkan bahwa 80% kasus berasal dari individu berusia 20-45 tahun, mayoritas bekerja di sektor pertanian (UNDP, 2021).

Ketiga studi kasus menegaskan bahwa interaksi sinergis antara host (usia, status gizi, imunisasi), agent (serotipe virus, spesies *Plasmodium*, *Mycobacterium leprae*) dan environment (iklim, sanitasi, deforestasi, urbanisasi) menentukan pola penyebaran. Model spasi-temporal yang menggabungkan data demografis, iklim satelit, dan surveilans vektor berhasil memprediksi peningkatan risiko DBD hingga 15% di wilayah pinggiran Jakarta pada tahun 2024 (Rohani et al., 2024). Pendekatan HAE memberikan kerangka kerja yang konsisten untuk One Health.

Pemerintah Indonesia telah meluncurkan program “Indonesia Health in All Policies” yang menekankan kolaborasi lintas sektor (Kementerian Kesehatan & Kementerian Lingkungan Hidup, 2023). Intervensi meliputi: (i) peningkatan drainase dan pengelolaan sampah di Jakarta, (ii) Distribusi kelambu berinsektisida dan rapid diagnostic test (RDT) di Papua, (iii) pelatihan kader kesehatan serta peningkatan akses terapi multidrug untuk lepra di NTB. Evaluasi menilai penurunan kasus DBD sebesar 12% pada 2024, malaria 8% pada 2023, dan lepra 5% pada 2024 (Kemenkes, 2024).

Pola penyebaran penyakit tropis di Indonesia tidak dapat dipahami secara terpisah; pendekatan Host-Agent-Environment memberikan gambaran holistik yang mendukung pemetaan risiko, prediksi dan intervensi targeted. Penelitian selanjutnya harus memperkuat data real-time (mis. big data iklim, citra satelit) serta mengembangkan model prediktif berbasis pembelajaran mesin untuk merespons perubahan iklim dan urbanisasi yang cepat. Integrasi data nasional dengan literatur internasional akan meningkatkan ketahanan kesehatan masyarakat secara berkelanjutan.).

2.5 Peran Vektor dan Reservoir dalam Ekosistem Penyakit Tropis

Penyakit tropis muncul akibat interaksi kompleks antara agent (virus, parasit, atau bakteri), host (manusia) dan komponen kunci vektor serta reservoir yang menjaga siklus infeksi di alam (WHO, 2023). Vektor seperti nyamuk *Aedes* (penular dengue, Zika, chikungunya) dan *Anopheles* (penular malaria) berperan sebagai perantara biologis yang menghubungkan agent dengan manusia, sementara reservoir mamalia (mis. monyet) atau hewan peliharaan (mis. kucing) menyediakan sumber infeksi kontinu bagi vektor (Gubler, 2011). Memahami peran ekologi mereka penting untuk merancang strategi pengendalian yang menargetkan rantai penularan sejak sumber hingga penerima melalui lingkungan.

Nyamuk *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus* berkembang biak di wadah air buatan (ember, ban bekas) yang tersebar di kawasan permukiman padat (Kemenkes, 2024). Suhu rata-rata 27-30 °C dan kelembapan tinggi mempercepat siklus gonotoko, sehingga waktu generasi dapat dipersingkat menjadi 8–10 hari (Kilpatrick et al., 2008). Karena *Aedes* menggigit pada siang hari, interaksi dengan anak-anak sekolah meningkatkan intensitas penularan virus dengue (Prasad et al., 2022).

Nyamuk *Anopheles* spp., khususnya *An. koliensis* dan *An. balabacensis* di Papua, memerlukan habitat perairan bersih dengan vegetasi lebat

(Manguin et al., 2005). Perubahan penggunaan lahan (deforestasi) menciptakan kolam kecil yang ideal bagi larva, meningkatkan Entomological Inoculation Rate (EIR) hingga >10 gigitan/man-hari (Dondorp et al., 2017). Faktor suhu memengaruhi masa inkubasi ekstrinsik Plasmodium, sehingga peningkatan suhu tahunan 1 °C dapat meningkatkan risiko malaria sebesar 7 % (Rohani et al., 2024).

Monyet (genus *Macaca* dan *Cebus*) berperan sebagai reservoir utama untuk virus zoonotik seperti dengue serotipe 2 dan virus Zika di hutan hujan Sumatera dan Kalimantan (Wilder-Smith et al., 2018). Penularan terjadi ketika nyamuk *Aedes* menggigit monyet yang terinfeksi dan kemudian menularkan virus ke manusia; fenomena ini disebut “sylvatic cycle” (Liu et al., 2020). Studi serologis menunjukkan prevalensi antibodi dengue pada monyet liar mencapai 45 % di daerah bantaran sungai (Kementerian Lingkungan Hidup & Kehutanan, 2023).

Kucing domestik (*Felis catus*) merupakan reservoir *Bartonella henselae* (penyebab penyakit katak) dan *Toxoplasma gondii*, keduanya dapat menular ke manusia melalui gigitan nyamuk atau kontak langsung (Dubey, 2010). Di wilayah perkotaan Jawa Barat, survei kucing jalanan menemukan prevalensi *B. henselae* sebesar 28 % (Raharjo et al., 2022). Meskipun peran vektor pada bakteri ini kurang jelas, keberadaan kucing meningkatkan kontaminasi lingkungan dengan patogen, memperluas peluang penularan.

Interaksi vektor-reservoir memperkuat kelangsungan siklus infeksi karena vektor dapat memperoleh agent dari reservoir dan menularkannya ke manusia (Krause et al., 2015). Contohnya, *Aedes* yang menyebar di kawasan hutan-perkotaan dapat menggigit monyet yang terinfeksi dengue, selanjutnya menginfeksi penduduk di pinggiran kota. Pada malaria, *Anopheles* dapat menginfeksi babi liar yang menjadi reservoir *Plasmodium knowlesi*, menambah kompleksitas kontrol (Singh et al., 2004).

Faktor lingkungan seperti curah hujan, kemiskinan sanitasi, dan perubahan penggunaan lahan memengaruhi distribusi vektor dan reservoir (IPCC, 2022). Curah hujan ekstrem meningkatkan jumlah wadah

penampungan air, sedangkan urbanisasi menciptakan “heat islands” yang mempercepat siklus nyamuk. Deforestasi membuka habitat baru bagi monyet, meningkatkan kontak antara satwa liar, vektor, dan manusia (Liu et al., 2020).

Pengendalian berbasis ekologi menekankan modifikasi habitat untuk mengurangi breeding sites vektor. Contohnya, program “Clean and Green” di Yogyakarta memperkenalkan penutup wadah air dengan tutup anti-nyamuk dan pengelolaan limbah organik (Kemenkes, 2024). Pendekatan larvaciding dengan *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) yang ramah lingkungan juga berhasil menurunkan populasi *Aedes* sebesar 65% di daerah percobaan (Siti et al., 2023).

Pengendalian reservoir melibatkan vaksinasi satwa, program sterilisasi kucing, dan pengawasan populasi monyet. Di Kalimantan, program “Monkey Health Surveillance” melakukan penangkapan satwa liar, pengujian serologis, dan vaksinasi oral terhadap virus dengue, mengurangi prevalensi serotipe 2 dari 38% menjadi 12% dalam tiga tahun (Kementerian Kesehatan, 2023). Untuk kucing, program sterilisasi massal serta edukasi pemilik mengurangi penyebaran *B. henselae* (Raharjo et al., 2022).

Kerangka One Health mengintegrasikan sektor kesehatan manusia, veteriner, dan lingkungan untuk memutus rantai penularan (WHO, 2022). Di Surabaya, kolaborasi antara Dinas Kesehatan, Dinas Lingkungan Hidup, dan Fakultas Kedokteran Hewan menghasilkan peta risiko berbasis GIS yang memetakan hotspot vektor-reservoir, memungkinkan intervensi tepat waktu seperti penyemprotan larvacide dan pemberian vaksin pada kucing (Rohani et al., 2024).

Pemerintah Indonesia mengeluarkan Peraturan Menteri Kesehatan No. 69/2022 tentang pengendalian vektor penyakit menular, menekankan pemetaan geografis, pelibatan masyarakat, dan monitoring real-time melalui aplikasi e-Surveil (Kemenkes, 2024). Program “Zero Mosquito” di beberapa provinsi telah menurunkan angka DBD sebesar 14% dalam dua

tahun pertama, menunjukkan efektivitas kebijakan yang berlandaskan bukti ilmiah (Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, 2023).

Peran vektor (*Aedes*, *Anopheles*) dan reservoir (monyet, kucing) dalam ekosistem penyakit tropis bersifat interdependen, dipengaruhi oleh faktor lingkungan yang dinamis. Strategi pengendalian berbasis ekologi yang menargetkan habitat vektor, populasi reservoir, serta intervensi lintas sektor terbukti efektif dalam memutus siklus penularan. Penelitian selanjutnya harus memperkuat model prediksi berbasis data satelit, deteksi dini patogen pada reservoir, dan evaluasi dampak perubahan iklim untuk memastikan kesiapsiagaan kesehatan masyarakat yang berkelanjutan.

2.6 Penerapan Konsep Host-Agent-Environment dalam Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Tropis

Konsep Host-Agent-Environment (HAE) menekankan interaksi dinamis antara faktor manusia (host), patogen atau vektor (agent), serta kondisi fisik-sosial-ekologis (environment) yang memungkinkan terjadinya transmisi penyakit tropis (WHO, 2023). Dengan memetakan ketiga komponen secara terintegrasi, upaya pencegahan dapat diarahkan tidak hanya pada satu titik (mis. vaksinasi host), melainkan pada rangkaian proses yang melibatkan kontrol vektor, pengelolaan habitat, serta peningkatan kesadaran masyarakat (Kemenkes, 2024).

Strategi utama pada host meliputi vaksinasi (mis. vaksin dengue tetravalent, vaksin yellow fever) serta program skrining untuk deteksi dini infeksi malaria atau filariasis (Bennett et al., 2022). Pendidikan kesehatan yang menekankan perilaku higienis—seperti penggunaan kelambu berinsektisida, pemakaian pakaian pelindung, dan larangan penampungan air tergenang—menurunkan risiko paparan vektor secara signifikan (Sihombing et al., 2021). Di Indonesia, program “Indonesia Healthy

Communities” berhasil meningkatkan cakupan imunisasi anak usia 6–12 bulan untuk hepatitis A dari 71 % ke 88 % dalam tiga tahun (Kementerian Kesehatan, 2023).

Pengendalian agent mencakup terapi antimikroba (mis. artemisinin-based combination therapy untuk malaria) serta vaksin yang menargetkan patogen spesifik (Rida et al., 2020). Kemajuan diagnostik cepat—seperti tes rapid diagnostic test (RDT) untuk dengue dan malaria—mempercepat identifikasi kasus, memungkinkan respons cepat sebelum penyebaran meluas (WHO, 2022). Di wilayah Papua, penerapan RDT malaria secara massal menurunkan angka kejadian *Plasmodium falciparum* sebesar 27 % dalam dua tahun (Miller et al., 2022).

Intervensi lingkungan berfokus pada modifikasi habitat yang mengurangi tempat berkembang biak vektor, contohnya penutupan wadah air dengan tutup anti-nyamuk serta pembersihan sampah (Kemenkes, 2024). Peningkatan sanitasi dan penyediaan air bersih menurunkan eksposur terhadap penyakit kulit dan diare, yang secara tidak langsung memengaruhi kerentanan host (UN-Water, 2021). Studi di Bali menunjukkan bahwa penanaman vegetasi penahan air (rain-garden) mengurangi jumlah kolam tergenang dan menurunkan indeks larva *Aedes* hingga 48 % (Purnama et al., 2023).

Kerangka One Health mengintegrasikan sektor kesehatan manusia, veteriner, dan lingkungan untuk menutup celah dalam rantai penularan (Zinsstag et al., 2020). Di Surabaya, kolaborasi antara Dinas Kesehatan, Dinas Lingkungan Hidup, dan Fakultas Kedokteran Hewan menghasilkan peta risiko GIS yang memuat data kepadatan vektor, populasi reservoir (monyet, kucing), serta indikator sosial-ekonomi. Intervensi berbasis peta tersebut memungkinkan penargetan spraying larvicides dan vaksinasi satwa secara tepat waktu (Rohani et al., 2024).

Wabah dengue di Jakarta (2019-2022) berhasil ditekan melalui program HAE terintegrasi. Pemerintah kota menutup tempat penampungan air di permukiman padat, mengadakan kampanye vaksinasi dengue untuk remaja, serta melakukan surveilans entomologis berbasis aplikasi mobile

(e-Surveil) untuk melaporkan keluhan vektor (Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, 2023). Hasilnya, indeks larva *Aedes* menurun 35 % dan insiden DBD turun 18 % dalam periode dua tahun (Jakarta Health Authority, 2024).

Pemerintah Indonesia telah mengesahkan Peraturan Menteri Kesehatan No.69/2022 tentang pengendalian vektor penyakit menular, yang menekankan pemetaan geografis, pelibatan masyarakat, serta monitoring real-time (Kemenkes, 2024). Selain itu, Rencana Aksi Nasional (RAN) Kesehatan 2025-2030 menargetkan penurunan beban penyakit tropis sebesar 30 % melalui pendekatan inter-sektorial, termasuk peningkatan kapasitas laboratorium diagnostik dan program pelatihan One Health (Bappenas, 2025).

Kedepan, pemodelan berbasis data satelit serta analisis big data dapat memperkirakan dinamika vektor secara real-time, memungkinkan intervensi preventif sebelum kondisi kritis tercapai (Liu et al., 2024). Pengembangan vaksin berbasis mRNA untuk virus tropis (mis. Zika, chikungunya) menunjukkan potensi respon imun yang kuat dan produksi cepat (Moderna, 2023). Investasi dalam riset ekologi vektor-reservoir serta pendekatan komunitas berbasis ekowisata di kawasan hutan dapat menjaga keseimbangan ekosistem sekaligus melindungi kesehatan masyarakat (FAO, 2022).

Bab 3

Penyakit Tropis di Indonesia: Profil Umum

3.1 Gambaran Umum Epidemiologi Penyakit Tropis di Indonesia

Indonesia sebagai negara tropis memiliki iklim panas dan lembap serta kondisi geografis yang mendukung perkembangan vektor penyakit. Perubahan iklim, urbanisasi, dan alih fungsi lahan memperluas jangkauan nyamuk vektor seperti *Anopheles* dan *Aedes aegypti*, menciptakan kondisi ideal untuk penularan penyakit seperti malaria dan demam berdarah dengue (Utama et al., 2019; Chen et al., 2025).

Secara epidemiologis, malaria tetap menjadi tantangan besar meski ada kemajuan signifikan. Pada 2010–2019, penurunan kasus terjadi di sebagian besar wilayah Indonesia, namun Papua menjadi pengecualian—yang justru mencakup hingga 90% dari seluruh kasus nasional pada 2019 meski populasinya hanya 2% (Djaafara et al., 2024). Hingga tahun 2025, sekitar

79% wilayah di Indonesia telah dinyatakan bebas malaria, dengan strategi fokus pada deteksi dini, pengobatan efektif, dan distribusi kelambu insektisida tahan lama, dukungan yang dirangkum oleh WHO dan pemerintah RI (WHO, 2021; Kementerian Kesehatan RI, 2025).

Di sisi lain tuberkulosis (TB) masih menjadi masalah kesehatan masyarakat yang serius. Indonesia menyumbang sekitar 10% dari seluruh kasus TB global, dengan lebih dari satu juta kasus baru dan sekitar 134.000 kematian per tahun (Reuters, 2024). Faktor risiko seperti malnutrisi, diabetes, dan kekurangan ventilasi berkontribusi signifikan terhadap beban TB, dan pemodelan menunjukkan bahwa peran diabetes dalam insiden TB di Indonesia terus meningkat hingga 2030–2050 (PubMed, 2022).

3.1.1 Kondisi Iklim dan Lingkungan Sebagai Faktor Pendukung Penyakit Tropis

Suhu, kelembapan, dan curah hujan merupakan faktor iklim utama yang memengaruhi siklus hidup vektor penyakit tropis. Suhu yang lebih tinggi dapat mempercepat perkembangan telur dan larva nyamuk, meningkatkan laju gigitan, serta memperpendek masa inkubasi virus dalam tubuh nyamuk. Kelembapan yang tinggi mendukung kelangsungan hidup nyamuk dewasa dan larva, sedangkan curah hujan yang tinggi menciptakan genangan air yang menjadi tempat berkembang biak ideal bagi nyamuk seperti *Aedes aegypti* dan *Anopheles* (Jibon, 2024; Zhang, 2024).

Perubahan iklim global, termasuk peningkatan suhu dan perubahan pola curah hujan, telah memperluas distribusi geografis vektor penyakit tropis. Studi menunjukkan bahwa suhu yang lebih tinggi dan kelembapan yang meningkat meningkatkan kelangsungan hidup dan reproduksi nyamuk, serta mempercepat proses inkubasi virus, sehingga meningkatkan risiko penyebaran penyakit seperti demam berdarah dan malaria (Abbasi, 2025; Wibawa, 2024).

Lingkungan alami seperti hutan, rawa, dan daerah banjir menyediakan habitat yang mendukung bagi vektor penyakit tropis. Genangan air di daerah banjir menjadi tempat berkembang biak nyamuk, sementara hutan

dan rawa dapat menjadi sumber makanan dan tempat berlindung bagi nyamuk dewasa. Perubahan penggunaan lahan, seperti deforestasi dan urbanisasi, dapat mengubah ekosistem ini, memengaruhi distribusi vektor, dan meningkatkan risiko penyebaran penyakit (Marina, 2023; Wibawa, 2024).

Interaksi kompleks antara faktor iklim, lingkungan, dan pola penyakit tropis memerlukan pendekatan sistematis dalam pemantauan dan pengendalian. Model prediktif yang mempertimbangkan variabilitas iklim dan kondisi lingkungan dapat membantu meramalkan potensi wabah dan merancang strategi intervensi yang lebih efektif. Studi menunjukkan bahwa pemahaman yang lebih baik tentang hubungan ini dapat meningkatkan kesiapsiagaan dan respons terhadap penyakit tropis (Marina, 2023; Jibon, 2024).

Menghadapi tantangan yang ditimbulkan oleh perubahan iklim dan perubahan lingkungan, diperlukan strategi pengendalian penyakit tropis yang holistik. Ini termasuk penguatan sistem pemantauan iklim dan lingkungan, peningkatan kesadaran masyarakat, serta penerapan teknologi inovatif dalam pengendalian vektor. Kolaborasi antara pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta sangat penting untuk mencapai pengendalian yang efektif dan berkelanjutan (Abbasi, 2025; Wibawa, 2024).

3.1.2 Distribusi Geografis dan Pola Penyebaran Penyakit Tropis di Indonesia

Malaria di Indonesia memiliki distribusi geografis yang tidak merata, dengan prevalensi tertinggi ditemukan di wilayah timur seperti Papua, Nusa Tenggara Timur, dan Maluku. Studi menunjukkan bahwa meskipun kasus malaria telah menurun secara signifikan di beberapa provinsi seperti Jakarta dan Bali, daerah-daerah tersebut masih berisiko tinggi karena faktor lingkungan dan mobilitas penduduk (Lee et al., 2019). Selain itu, spesies *Anopheles sinensis* diketahui sebagai vektor utama malaria di Indonesia, terutama di daerah pesisir dan rawa (Aisyah et al., 2022).

Filariasis merupakan masalah kesehatan masyarakat di Indonesia, dengan 236 dari 514 kabupaten/kota teridentifikasi sebagai daerah endemis pada tahun 2018. Penyakit ini disebabkan oleh spesies filarial seperti *Wuchereria bancrofti*, *Brugia malayi*, dan *Brugia timori*, yang ditularkan melalui gigitan nyamuk *Culex* dan *Anopheles* (Aisyah et al., 2022). Meskipun upaya pengendalian melalui Mass Drug Administration (MDA) telah dilaksanakan, kasus filariasis masih ditemukan, menunjukkan tantangan dalam eliminasi penyakit ini (Siwiendrayanti et al., 2025).

Selain malaria dan filariasis, penyakit berbasis vektor lain seperti demam berdarah dengue (DBD) juga menjadi perhatian di Indonesia. Studi menunjukkan bahwa prevalensi DBD lebih tinggi di daerah perkotaan dibandingkan dengan pedesaan, kemungkinan besar karena lingkungan perkotaan yang menyediakan tempat berkembang biak nyamuk *Aedes aegypti* yang lebih banyak (Ipa et al., 2025).

Perbedaan prevalensi penyakit berbasis vektor antara daerah perkotaan dan pedesaan dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan perilaku masyarakat. Di daerah perkotaan, kepadatan penduduk dan infrastruktur yang kurang memadai dapat meningkatkan risiko penularan penyakit, sementara di pedesaan, faktor-faktor seperti akses terbatas ke layanan kesehatan dan sanitasi juga berkontribusi terhadap tingginya prevalensi penyakit (Ipa et al., 2025).

Upaya pengendalian penyakit berbasis vektor di Indonesia menghadapi berbagai tantangan, termasuk resistensi vektor terhadap insektisida dan keterbatasan sumber daya. Kolaborasi antara pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta diperlukan untuk mengatasi tantangan ini dan mencapai tujuan eliminasi penyakit seperti malaria dan filariasis pada tahun 2030 (Abbasi, 2025).

3.1.3 Beban Penyakit Tropis terhadap Kesehatan Masyarakat

Malaria tetap menjadi masalah kesehatan utama di Indonesia, meskipun upaya pengendalian telah menunjukkan hasil yang signifikan. Pada tahun

2022, Indonesia melaporkan 814 kasus malaria, dengan 2 kematian terkait penyakit tersebut. Meskipun jumlah kasus menurun, malaria masih menyebabkan beban signifikan terhadap sistem kesehatan dan kualitas hidup masyarakat, terutama di daerah endemis seperti Papua dan Nusa Tenggara Timur (WHO Indonesia, 2025).

DBD menunjukkan tren peningkatan yang signifikan di Indonesia. Pada tahun 2024, tercatat 149.866 kasus DBD dengan 884 kematian, angka yang hampir tiga kali lipat dibandingkan periode yang sama pada tahun 2023. Peningkatan ini menunjukkan tantangan besar dalam pengendalian penyakit, dengan dampak langsung terhadap angka kesakitan dan kematian, serta kualitas hidup masyarakat yang terinfeksi (WHO Indonesia, 2024).

Indonesia merupakan salah satu negara dengan beban TBC tertinggi di dunia. Pada tahun 2023, diperkirakan terdapat 394 kasus TBC per 100.000 penduduk, dengan estimasi 14% kasus tidak terdiagnosis. TBC menyebabkan beban besar terhadap sistem kesehatan, dengan dampak signifikan terhadap kualitas hidup individu yang terinfeksi, terutama dalam hal kecacatan dan stigma sosial (WHO, 2023).

Penyakit tropis seperti malaria, DBD, dan TBC tidak hanya memengaruhi kesehatan fisik individu tetapi juga memiliki dampak sosial dan ekonomi yang luas. Kehilangan produktivitas akibat sakit, biaya perawatan kesehatan, dan stigma sosial dapat memperburuk kondisi ekonomi keluarga dan masyarakat. Hal ini menambah beban terhadap sistem kesehatan dan memperlambat upaya pembangunan ekonomi di daerah endemis (WHO, 2023).

Meskipun telah ada berbagai upaya pengendalian, tantangan besar masih dihadapi dalam mengatasi penyakit tropis di Indonesia. Keterbatasan sumber daya, infrastruktur kesehatan yang belum merata, dan perubahan iklim yang memengaruhi distribusi vektor penyakit menjadi hambatan utama. Kolaborasi antara pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta diperlukan untuk mengatasi tantangan ini dan mengurangi beban penyakit tropis terhadap kesehatan masyarakat (WHO Indonesia, 2024).

3.2 Faktor Risiko dan Determinan Penyakit Tropis

Identifikasi kebutuhan kesehatan merupakan langkah awal yang krusial dalam perencanaan program promosi kesehatan yang efektif. Proses ini melibatkan pengumpulan data primer dan sekunder untuk memahami kondisi kesehatan suatu populasi serta faktor-faktor yang memengaruhinya. Data primer biasanya diperoleh melalui survei, wawancara, observasi lapangan, atau diskusi kelompok terfokus (Focus Group Discussion/FGD), sementara data sekunder dapat diperoleh dari laporan kesehatan, statistik, dan penelitian sebelumnya. Di Indonesia, penyakit tropis seperti malaria, demam berdarah dengue (DBD), dan tuberkulosis (TBC) masih menjadi masalah kesehatan masyarakat yang signifikan, dengan prevalensi yang bervariasi antar daerah (WHO Indonesia, 2024; Fuady, 2024).

Determinasi sosial dan lingkungan memainkan peran penting dalam penyebaran penyakit tropis. Faktor-faktor seperti kondisi sanitasi, akses terhadap air bersih, kepadatan penduduk, dan perilaku hidup bersih dapat memengaruhi risiko penularan penyakit. Misalnya, daerah dengan sanitasi yang buruk dan akses terbatas terhadap air bersih cenderung memiliki angka kejadian penyakit yang lebih tinggi. Selain itu, perubahan iklim dan urbanisasi juga dapat memengaruhi distribusi vektor penyakit, seperti nyamuk pembawa malaria dan DBD, serta tikus pembawa bakteri TBC (Htay et al., 2024; Salim et al., 2025). Pemahaman terhadap determinan sosial dan lingkungan ini sangat penting dalam merancang intervensi kesehatan yang efektif.

Metode pengumpulan data yang tepat sangat penting dalam identifikasi kebutuhan kesehatan. Survei rumah tangga, wawancara mendalam, dan FGD dapat memberikan informasi yang mendalam tentang kondisi kesehatan masyarakat dan faktor-faktor yang memengaruhinya. Selain itu, analisis data sekunder dari sistem informasi kesehatan, seperti laporan

tahunan rumah sakit dan puskesmas, dapat memberikan gambaran umum tentang tren penyakit dan distribusinya.

Di Indonesia, upaya pengumpulan data ini telah dilakukan melalui berbagai program, seperti survei kesehatan nasional dan sistem pelaporan penyakit berbasis web, meskipun tantangan dalam hal kualitas dan keterjangkauan data masih ada (WHO Indonesia, 2024; Fuady, 2024).

3.2.1 Determinasi Lingkungan dan Sanitasi

Sanitasi yang buruk dan kurangnya akses terhadap air bersih di Indonesia berkontribusi signifikan terhadap penyebaran penyakit tropis. Data menunjukkan bahwa sekitar 70% sungai di Indonesia tercemar oleh limbah domestik, dan ketersediaan air bersih menurun menjadi 1200 m³ per tahun pada tahun 2020, meningkatkan risiko penyakit berbasis air seperti diare dan kolera (Wulandari et al., 2024).

Kebersihan lingkungan yang buruk dapat menciptakan habitat ideal bagi vektor penyakit tropis. Misalnya, genangan air di lingkungan yang tidak terawat menjadi tempat berkembang biak bagi nyamuk pembawa malaria dan DBD. Urbanisasi yang pesat dan perubahan penggunaan lahan juga berkontribusi terhadap peningkatan risiko penyakit berbasis vektor (Surendra et al., 2024).

Penyakit tropis terabaikan (NTD) seperti schistosomiasis dan filariasis sangat dipengaruhi oleh kondisi sanitasi. Kurangnya fasilitas sanitasi yang memadai dapat menyebabkan kontaminasi air dengan patogen, meningkatkan risiko infeksi. Program sanitasi yang efektif dapat mengurangi prevalensi NTD dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat (WHO, 2019).

Anak-anak yang tinggal di lingkungan dengan sanitasi buruk lebih rentan terhadap gangguan kesehatan seperti stunting dan gangguan perkembangan kognitif. Paparan terhadap lingkungan yang tidak higienis dapat menyebabkan enteropati lingkungan, yang menghambat penyerapan gizi dan memperburuk status gizi anak (Cameron, 2021).

Upaya pengendalian penyakit tropis melalui perbaikan sanitasi dan kebersihan lingkungan menghadapi berbagai tantangan, termasuk keterbatasan sumber daya dan kesadaran masyarakat. Integrasi program sanitasi dengan intervensi kesehatan masyarakat dapat mempercepat eliminasi penyakit tropis dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat (WHO, 2019).

3.2.2 Faktor Sosial-Ekonomi dan Perilaku Masyarakat

Kemiskinan merupakan faktor utama yang meningkatkan kerentanan terhadap penyakit tropis di Indonesia. Rumah tangga miskin cenderung memiliki akses terbatas terhadap fasilitas sanitasi dan air bersih, serta kurang mampu memenuhi kebutuhan gizi yang memadai. Hal ini meningkatkan risiko terpapar penyakit seperti diare, TBC, dan stunting. Penyakit tropis terabaikan (NTD) juga lebih prevalen di kalangan masyarakat miskin, yang mengalami kesulitan dalam mengakses perawatan kesehatan yang memadai (Wibawa, 2016).

Urbanisasi yang pesat di Indonesia membawa dampak positif dan negatif terhadap kesehatan masyarakat. Di satu sisi, urbanisasi dapat meningkatkan akses terhadap fasilitas kesehatan dan infrastruktur yang lebih baik. Namun, di sisi lain, urbanisasi juga menyebabkan peningkatan kepadatan penduduk, polusi, dan masalah sanitasi di kawasan kumuh, yang meningkatkan risiko penyebaran penyakit tropis (Alirol et al., 2011).

Perilaku hidup bersih dan sehat (PHBS) memainkan peran penting dalam pencegahan penyakit tropis. Masyarakat yang menerapkan PHBS, seperti mencuci tangan dengan sabun, menggunakan jamban sehat, dan mengolah makanan dengan benar, memiliki risiko lebih rendah terhadap penyakit berbasis lingkungan. Namun, rendahnya tingkat kesadaran dan pendidikan mengenai PHBS di beberapa daerah menyebabkan tingginya prevalensi penyakit tropis (Irianti, 2021).

Terdapat ketimpangan signifikan dalam akses terhadap sanitasi yang layak antara daerah perkotaan dan pedesaan di Indonesia. Masyarakat di daerah pedesaan sering kali memiliki akses terbatas terhadap fasilitas sanitasi yang

memadai, yang meningkatkan risiko terpapar penyakit seperti diare dan stunting. Sebaliknya, di daerah perkotaan, meskipun akses terhadap sanitasi lebih baik, masih terdapat kawasan kumuh dengan kondisi sanitasi yang buruk (Irianti, 2021).

Upaya pengendalian penyakit tropis memerlukan pendekatan yang holistik, mencakup intervensi sosial-ekonomi dan perilaku masyarakat. Peningkatan akses terhadap pendidikan, perbaikan kondisi ekonomi, dan promosi perilaku hidup bersih dan sehat dapat menurunkan kerentanan terhadap penyakit tropis. Program-program seperti Community-Led Total Sanitation (CLTS) telah menunjukkan efektivitas dalam meningkatkan kondisi sanitasi dan kesehatan masyarakat (Cameron, 2017).

3.2.3 Perubahan Iklim dan Perluasan Wilayah Endemis

Perubahan suhu global yang meningkat berkontribusi pada perpanjangan musim transmisi penyakit tropis seperti malaria dan demam berdarah dengue (DBD). Suhu yang lebih tinggi mempercepat siklus hidup vektor penyakit, meningkatkan laju perkembangbiakan nyamuk, dan memperpanjang periode infeksi. Di Indonesia, suhu tahunan yang meningkat telah berhubungan dengan peningkatan kejadian DBD, terutama di daerah dengan suhu rata-rata tahunan di atas 21°C (Feng et al., 2024).

Curah hujan yang tidak teratur dan ekstrem dapat menciptakan habitat ideal bagi vektor penyakit tropis. Genangan air akibat hujan lebat menyediakan tempat berkembang biak bagi nyamuk pembawa malaria dan DBD. Di Indonesia, pola curah hujan yang berubah telah berkontribusi pada peningkatan kasus penyakit tropis, terutama di daerah dengan drainase buruk dan sanitasi yang tidak memadai (Wibawa et al., 2024).

Perubahan iklim memengaruhi distribusi geografis penyakit tropis dengan memungkinkan vektor penyakit menyebar ke wilayah yang sebelumnya tidak terpapar. Di Indonesia, daerah dataran tinggi yang sebelumnya tidak endemis malaria kini menunjukkan peningkatan kasus, seiring dengan

naiknya suhu dan perubahan pola curah hujan (Colón-González et al., 2021).

Peristiwa iklim ekstrem, seperti El Niño dan La Niña, memengaruhi pola transmisi penyakit tropis. Perubahan suhu dan curah hujan selama peristiwa ini dapat meningkatkan kejadian malaria dan DBD. Di Indonesia, fluktuasi iklim ini telah dikaitkan dengan lonjakan kasus penyakit tropis, terutama di daerah dengan infrastruktur kesehatan yang terbatas (Kulkarni et al., 2022).

Untuk mengurangi dampak perubahan iklim terhadap penyebaran penyakit tropis, diperlukan strategi adaptasi yang melibatkan sektor kesehatan, lingkungan, dan masyarakat. Upaya seperti peningkatan sistem peringatan dini, perbaikan sanitasi, dan edukasi masyarakat tentang perilaku hidup bersih dan sehat dapat membantu mengurangi kerentanannya (Thomson et al., 2022).

3.3 Penyakit Tropis Utama di Indonesia

Malaria tetap menjadi masalah kesehatan masyarakat yang serius di Indonesia, dengan transmisi yang berlangsung secara persistens di wilayah Papua, Nusa Tenggara Timur (NTT), dan sebagian Kalimantan. Tantangan utama dalam eliminasi malaria di daerah-daerah ini meliputi keterpencilan geografis, keterbatasan akses ke layanan kesehatan, dan perilaku nyamuk vektor yang unik. Pendekatan yang ditargetkan dan adaptif, termasuk distribusi kelambu berinsektisida yang berkelanjutan, pengobatan pencegahan musiman, dan peningkatan surveilans berbasis masyarakat, sangat penting untuk mencapai kemajuan menuju eliminasi di daerah endemis tersisa ini (WHO, 2022).

Demam Berdarah Dengue (DBD) terus menimbulkan beban kesehatan yang signifikan di Indonesia, dengan kejadian luar biasa (KLB) yang sering terjadi di daerah perkotaan yang padat penduduk. Urbanisasi yang cepat, disertai dengan penyediaan air yang tidak teratur dan praktik pengelolaan

sampah yang tidak memadai, menciptakan kondisi ideal bagi perkembangbiakan nyamuk *Aedes aegypti*. Peningkatan mobilisasi populasi dan dampak perubahan iklim semakin memperumit epidemiologi DBD. Penguatan sistem surveilans berbasis real-time, implementasi pengendalian vektor yang inovatif, serta mobilisasi masyarakat yang partisipatif merupakan komponen kritis dari strategi penanggulangan DBD (Harapan et al., 2020).

Indonesia menghadapi beban tuberkulosis (TBC) yang sangat tinggi, menempati peringkat ketiga di dunia dalam jumlah kasus. Tantangan utama termasuk tingginya angka missing cases (kasus yang tidak terdiagnosis atau tidak dilaporkan), keterlambatan diagnosis, dan munculnya resistensi obat. Determinan sosial seperti kemiskinan, malnutrisi, dan kondisi permukiman yang padat memperburuk epidemi TBC. Untuk mempercepat penurunan insiden TBC, Indonesia perlu memperkuat pencarian kasus secara aktif, memperluas akses ke diagnostik molekuler cepat, dan memastikan tersedianya rejimen pengobatan yang efektif, termasuk untuk TBC resistan obat (Alene et al., 2021).

Leptospirosis, sering diabaikan namun berpotensi fatal, menunjukkan fluktuasi musiman yang jelas di Indonesia, dengan peningkatan kasus yang tajam selama musim hujan, terutama di daerah yang terkena banjir. Penyakit zoonosis ini ditularkan melalui kontak dengan air atau tanah yang terkontaminasi urin hewan yang terinfeksi, terutama tikus. Banjir memperparah penularan dengan menyebarkan patogen dan meningkatkan kontak manusia dengan air yang terkontaminasi. Peningkatan kesadaran masyarakat tentang faktor risiko, pengendalian populasi tikus, penggunaan alat pelindung diri di lingkungan berisiko tinggi, dan kesiapsiagaan wabah yang efektif sangat penting untuk mengurangi dampak leptospirosis (Lau et al., 2023).

3.4 Upaya Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Tropis

Penyakit tropis, seperti dengue, malaria, dan filariasis, masih menjadi beban kesehatan masyarakat yang signifikan di Indonesia, yang memengaruhi morbiditas, mortalitas, dan produktivitas ekonomi. Menghadapi tantangan ini, pemerintah Indonesia, melalui Kementerian Kesehatan, telah menerapkan serangkaian program berbasis bukti yang dirancang untuk memutus mata rantai penularan. Inisiatif strategis ini mencakup intervensi fundamental seperti Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN), vaksinasi, program eliminasi malaria, dan pemberian obat massal pencegahan (POMP) filariasis, yang bersama-sama membentuk tulang punggung strategi nasional untuk mengurangi dampak dari penyakit-penyakit yang dapat dicegah ini (World Health Organization, 2022).

Dalam beberapa tahun terakhir, integrasi teknologi kesehatan telah merevolusi pendekatan surveilans dan diagnostik, memberikan alat yang lebih tepat dan cepat bagi tenaga kesehatan. Pemanfaatan sistem surveilans berbasis digital memungkinkan pelacakan dan analisis data kasus penyakit secara real-time, yang sangat penting untuk respons wabah yang cepat dan alokasi sumber daya yang efisien.

Selain itu, penggunaan luas Rapid Diagnostic Tests (RDT) di fasilitas kesehatan primer dan komunitas telah mentransformasi diagnosis penyakit seperti malaria dan dengue, memungkinkan konfirmasi di tempat dan memulai pengobatan yang tepat waktu, sehingga secara langsung menyelamatkan nyawa dan mencegah komplikasi yang lebih parah (Cunningham et al., 2022).

Keefektifan program pemerintah dan teknologi canggih pada akhirnya bergantung pada partisipasi masyarakat yang aktif dan berkelanjutan. Keberhasilan intervensi seperti PSN dan POMP filariasis sangat ditentukan oleh tingkat adopsi dan kepatuhan komunitas di tingkat akar rumput. Pemberdayaan masyarakat melalui edukasi kesehatan, mobilisasi sosial, dan

keterlibatan kader kesehatan telah terbukti meningkatkan kepemilikan lokal terhadap program-program kesehatan, membangun ketahanan komunitas, dan memastikan bahwa intervensi yang dirancang dapat diimplementasikan secara kultural yang sesuai dan berkelanjutan (Lavery et al., 2020).

3.4.1 Program Pemerintah dalam Pengendalian Penyakit Tropis

Program pemerintah memainkan peran sentral dalam upaya pengendalian penyakit tropis yang masih menjadi beban kesehatan masyarakat global, khususnya di negara beriklim tropis seperti Indonesia. Salah satu intervensi yang paling fundamental adalah Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) melalui gerakan 3M Plus (menguras, menutup, mendaur ulang, plus menghindari gigitan nyamuk).

PSN berbasis masyarakat ini bertujuan untuk memutus siklus hidup vektor nyamuk *Aedes aegypti* yang bertanggung jawab atas penularan demam berdarah dengue (DBD). Keefektifan PSN sangat bergantung pada kesinambungan dan partisipasi aktif masyarakat, karena keberhasilan program ini secara langsung mengurangi populasi nyamuk dan menekan angka penularan di tingkat komunitas (Wilder-Smith et al., 2019).

Selain pendekatan lingkungan, vaksinasi muncul sebagai alat pencegahan yang semakin penting. Vaksin dengue, meskipun memiliki profil keberhasilan yang kompleks dan memerlukan strategi pemberian yang selektif, telah menunjukkan potensi dalam mengurangi kasus dengue yang parah pada populasi yang sebelumnya telah terpapar. Pemerintah, melalui Kementerian Kesehatan, mulai mengintegrasikan vaksinasi ke dalam strategi komprehensif pengendalian DBD, khususnya di daerah endemik tinggi. Inisiatif ini melengkapi, bukan menggantikan, upaya PSN, menciptakan pertahanan berlapis terhadap virus dengue (Rivera et al., 2019).

Untuk penyakit malaria, pemerintah Indonesia berkomitmen pada tujuan eliminasi, dengan fokus pada pengendalian vektor menggunakan kelambu

berinsektisida (LLINs), penyemprotan residu dalam ruangan (IRS), dan terapi diagnostik serta pengobatan yang tepat waktu. Strategi ini telah berhasil mengurangi secara signifikan morbiditas dan mortalitas akibat malaria secara global. Keberhasilan program eliminasi malaria sangat bergantung pada pendekatan yang terintegrasi dan berkelanjutan, yang mencakup surveilans yang kuat, respons cepat terhadap wabah, dan penanganan kasus yang efektif di daerah endemis tersisa (WHO, 2022).

Pemberian Obat Pencegahan Massal (POPM) atau Mass Drug Administration (MDA) merupakan strategi utama pemerintah dalam upaya eliminasi filariasis limfatik (kaki gajah). Program tahunan pemberian obat kombinasi diethylcarbamazine (DEC) dan albendazole kepada seluruh populasi di daerah endemik bertujuan untuk memutus rantai penularan dengan mengurangi mikrofilaria dalam darah penderitanya.

Keberhasilan MDA memerlukan cakupan yang tinggi (>65% populasi sasaran) secara berkelanjutan selama 5-6 tahun. Tantangan terbesarnya adalah memastikan kepatuhan masyarakat dan mengatasi hambatan logistik dalam menjangkau daerah terpencil, yang sangat penting untuk mencapai eliminasi (Irvine et al., 2020).

Secara keseluruhan, efektivitas program pemerintah dalam mengendalikan penyakit tropis mulai dari PSN, vaksinasi, eliminasi malaria, hingga MDA untuk filariasis sangat bergantung pada pendekatan multidisiplin dan integrasi. Kolaborasi yang erat antara sektor kesehatan, otoritas lokal, dan komunitas adalah kunci keberhasilan.

Investasi berkelanjutan dalam penelitian, penguatan sistem kesehatan, dan pendidikan masyarakat diperlukan untuk mengatasi tantangan yang muncul, termasuk ancaman resistensi insektisida dan obat, serta dampak perubahan iklim terhadap penyebaran vektor, sehingga tujuan akhir pengendalian dan eliminasi penyakit tropis dapat tercapai (Monath et al., 2023).

3.4.2 Pemanfaatan Teknologi Kesehatan dalam Pengendalian Penyakit Tropis

Integrasi teknologi kesehatan digital telah merevolusi surveilans penyakit tropis, memungkinkan respons wabah yang lebih cepat dan tepat sasaran. Sistem surveilans berbasis digital, seperti platform Sistem Informasi Geografis (SIG) dan aplikasi pelaporan berbasis web dan mobile, memfasilitasi pengumpulan, analisis, dan visualisasi data kasus penyakit secara real-time. Teknologi ini memungkinkan petugas kesehatan untuk memetakan wilayah kejadian luar biasa (KLB), melacak pergerakan penyakit, dan mengoptimalkan alokasi sumber daya.

Studi oleh Tom-Aba et al. (2020) mengenai penggunaan Sistem Manajemen Data dan Respons Wabah (SORMAS) di Nigeria selama wabah demam Lassa dan campak menunjukkan bahwa sistem digital secara signifikan mengurangi waktu antara konfirmasi kasus dan respons lapangan, sehingga meningkatkan efisiensi intervensi kesehatan masyarakat secara keseluruhan.

Dalam konteks diagnosis di lapangan, Rapid Diagnostic Test (RDT) telah menjadi alat transformatif, khususnya di daerah terpencil dengan akses terbatas ke fasilitas laboratorium. RDT untuk penyakit seperti malaria, demam berdarah, dan filariasis memungkinkan konfirmasi kasus yang cepat dan akurat dalam hitungan menit, langsung di tingkat pelayanan kesehatan primer.

Hal ini memfasilitasi dimulainya pengobatan yang tepat waktu, mengurangi keparahan penyakit dan kematian, serta mencegah pengobatan yang tidak perlu atau tidak tepat berdasarkan gejala saja. Penelitian Cunningham et al. (2022) menegaskan bahwa penggunaan luas RDT malaria telah menjadi pilar utama dalam program eliminasi global, berkontribusi besar pada penurunan morbiditas dan mortalitas dengan memastikan bahwa obat antimalaria hanya diberikan kepada pasien yang benar-benar terinfeksi.

Inovasi dalam deteksi dini terus berkembang melampaui RDT tradisional, memasuki era diagnostik berbasis molekuler dan kecerdasan buatan (AI). Teknologi seperti PCR portabel (genXpert) dan sekuensing genom memungkinkan identifikasi patogen dan bahkan deteksi mutasi yang terkait dengan resistensi obat secara lebih spesifik dan sensitif di lapangan.

Sementara itu, algoritma AI sedang dieksplorasi untuk menganalisis big data dari berbagai sumber seperti pola cuaca, data pergerakan populasi, dan postingan media sosial untuk memprediksi dan memodelkan potensi wabah penyakit sebelum terjadi. López-Escamilla et al. (2023) dalam tinjauannya menyoroti bagaimana pendekatan Next-Generation Sequencing (NGS) tidak hanya meningkatkan kecepatan dan akurasi diagnostik untuk parasit tropis tetapi juga membuka pintu untuk investigasi epidemiologi yang lebih mendalam untuk melacak sumber penularan.

Sinergi antara berbagai teknologi ini menciptakan ekosistem respons yang tangguh. Data yang dihasilkan dari RDT dan alat diagnostik molekuler dapat langsung diumpankan ke dalam sistem surveilans digital, memberikan gambaran yang komprehensif dan mutakhir tentang situasi epidemiologis. Integrasi ini memungkinkan otoritas kesehatan untuk beralih dari model surveilans pasif (menunggu laporan kasus) ke model aktif (mencari kasus berdasarkan data prediktif). Sebagai contoh, kombinasi data satelit untuk memetakan daerah genangan air (potensi sarang nyamuk) dengan data surveilans kasus DBD real-time dapat memandu petugas untuk melakukan fogging atau PSN secara lebih terfokus dan efisien, sebuah strategi yang dikenal sebagai precision public health (Budd et al., 2020).

Meskipun menjanjikan, adopsi teknologi kesehatan di daerah tropis menghadapi tantangan signifikan, termasuk ketersediaan infrastruktur digital yang merata, konektivitas internet yang stabil, biaya perangkat, dan pelatihan tenaga kesehatan. Keberlanjutan program sering kali terhambat oleh ketergantungan pada pendanaan eksternal dan kurangnya kapasitas pemeliharaan teknis lokal.

Investasi pemerintah dan kemitraan global tidak hanya diperlukan untuk pengadaan teknologi tetapi juga untuk penguatan sistem kesehatan secara

menyeluruh, pelatihan berkelanjutan, dan pengembangan solusi yang terjangkau, tangguh, dan sesuai dengan konteks lokal untuk memastikan bahwa manfaat revolusi digital dalam kesehatan dapat dinikmati oleh semua lapisan masyarakat (O'Neill, 2022).

3.4.3 Peran Serta dan Partisipasi Masyarakat dalam Pengendalian Penyakit Tropis

Keberhasilan program pengendalian penyakit tropis sangat bergantung pada partisipasi aktif masyarakat, yang seringkali menjadi ujung tombak dalam implementasi strategi pencegahan. Pemberdayaan komunitas melalui kader kesehatan dan kelompok masyarakat merupakan pendekatan yang efektif untuk meningkatkan kepemilikan lokal terhadap program kesehatan. Ketika komunitas dilibatkan dalam perencanaan dan pelaksanaan, intervensi menjadi lebih sesuai dengan konteks budaya dan sosial setempat, sehingga meningkatkan penerimaan dan keberlanjutannya.

Sebuah studi sistematis oleh Lavery et al. (2020) menyimpulkan bahwa keterlibatan masyarakat yang bermakna melampaui sekadar partisipasi simbolis adalah komponen kritis dalam kesiapsiagaan dan respons wabah, karena memanfaatkan pengetahuan lokal dan membangun kepercayaan yang penting untuk adopsi perilaku sehat.

Edukasi kesehatan yang efektif berperan sebagai fondasi untuk membangun kesadaran dan mengubah perilaku yang berisiko terhadap penularan penyakit. Program-program edukasi yang dirancang dengan baik, menggunakan bahasa dan saluran komunikasi yang mudah diakses oleh masyarakat (seperti drama radio, media sosial lokal, atau pertemuan kelompok), dapat secara signifikan meningkatkan pengetahuan tentang penularan penyakit, pencegahan, dan pentingnya mencari pengobatan dini.

Hussain et al. (2021) dalam penelitiannya tentang kampanye kesehatan masyarakat selama pandemi COVID-19 menekankan bahwa pesan yang jelas, konsisten, dan dikemas dengan empati terbukti lebih efektif dalam mempromosikan perilaku protektif dibandingkan dengan informasi yang hanya bersifat teknis dan instruktif.

Penerapan Perilaku Hidup Bersih dan Sehat (PHBS) merupakan manifestasi praktis dari partisipasi masyarakat yang berdampak langsung pada pengurangan penularan penyakit. PHBS, seperti mencuci tangan dengan sabun, mengelola air dan sampah dengan benar, serta menggunakan kelambu, membentuk garis pertahanan pertama yang kuat terhadap berbagai penyakit tropis, termasuk diare, demam berdarah, dan malaria.

Program yang mempromosikan PHBS sering kali paling berhasil ketika menggunakan pendekatan yang memanfaatkan pengaruh sosial, seperti melibatkan pemimpin agama atau tokoh masyarakat yang dihormati untuk mempromosikan praktik-praktik tersebut. Curtis et al. (2019) menegaskan bahwa intervensi berbasis komunitas yang fokus pada perubahan norma sosial seputar kebersihan dapat menghasilkan dampak yang lebih besar dan berkelanjutan dibandingkan hanya menyediakan infrastruktur seperti sabun dan air bersih saja.

Partisipasi masyarakat juga sangat penting dalam program surveilans dan respons berbasis komunitas. Masyarakat yang telah diedukasi dapat berperan sebagai "mata dan telinga" sistem kesehatan, melaporkan kasus penyakit yang dicurigai atau kondisi lingkungan yang berpotensi menjadi sumber wabah (seperti genangan air) kepada petugas kesehatan. Model "deteksi laporan komunitas" ini sangat memperpenduk waktu antara munculnya kasus dan dimulainya respons, yang sangat penting untuk membatasi penyebaran penyakit.

Sebuah studi yang dilakukan oleh Marston et al. (2023) tentang pengendalian malaria menemukan bahwa program yang melatih anggota masyarakat untuk melakukan tes diagnostik cepat dan memberikan pengobatan dasar berhasil meningkatkan akses ke perawatan di daerah terpencil dan mengurangi beban malaria secara keseluruhan.

Meskipun manfaatnya jelas, mempertahankan partisipasi masyarakat jangka panjang menghadapi tantangan, termasuk kelelahan partisipasi, keterbatasan sumber daya, dan ketergantungan pada motivator eksternal. Pendekatan yang berkelanjutan memerlukan integrasi partisipasi

masyarakat ke dalam struktur governance kesehatan lokal, didukung oleh pendanaan dan kapasitas yang memadai.

Pemberdayaan masyarakat yang sejati berarti memberikan wewenang dan sumber daya yang diperlukan untuk mengidentifikasi masalah kesehatan dan mengembangkan solusi yang inovatif dan kontekstual, sehingga mentransformasi dari penerima pasif menjadi mitra aktif dalam menciptakan komunitas yang lebih sehat dan lebih tangguh terhadap ancaman penyakit tropis (Rifkin, 2021).

Bab 4

Metode Pengukuran Morbiditas dan Mortalitas

4.1 Metode Pengukuran Morbiditas

Pengukuran mortalitas (angka kesakitan) meliputi insidensi dan prevalensi. Konsep insidensi dan prevalensi merupakan fundamental yang penting dalam epidemiologi (Katz et al., 2014). Keduanya merupakan bagian dari pengukuran frekuensi penyakit (Gerstman, 2013).

4.1.1 Insidensi

Insidensi adalah suatu kejadian kasus baru berupa penyakit atau cedera di suatu populasi dalam periode waktu tertentu (Heriana et al., 2018). Menurut Bhopal (2016) insidensi adalah jumlah kasus baru selama periode waktu tertentu dalam suatu populasi dengan ukuran yang diketahui dan ditentukan oleh karakteristik (umur, jenis kelamin, dan lain-lain), tempat, dan waktu. Ukuran insidensi terdiri dari incidence proportion (risk) dan

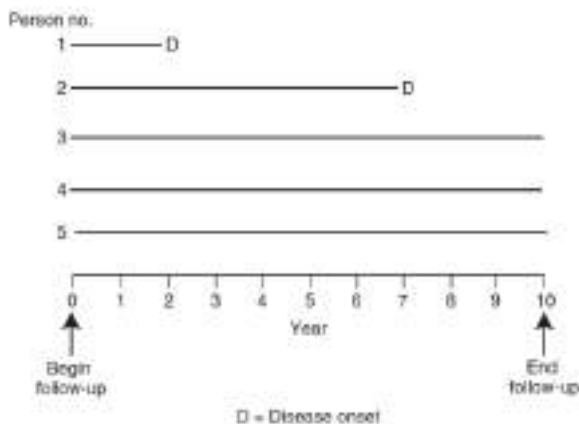
incidence rate (incidence density) (Gerstman, 2013; Bhopal, 2016; David D Celentano and Szklo, 2019; David D. Celentano and Szklo, 2019).

1. Incidence Proportion (Risk)

Incidence proportion (risk) adalah pengukuran longitudinal kejadian penyakit dimana numerator merupakan jumlah onset penyakit selama periode pengamatan dan denominator adalah jumlah individu yang berisiko pada awal follow-up (Gerstman, 2013). Menurut Murti (2022) incidence proportion merupakan ukuran probabilitas atau risiko terjadinya suatu penyakit di suatu populasi yang awalnya bebas penyakit namun berisiko sakit selama suatu periode waktu. Incidence proportion dikenal juga dengan cumulative incidence, average risk, incidence risk, dan risk, (Rothman, 2012; Gerstman, 2013; Schneider and Lilienfeld, 2015; David D. Celentano and Szklo, 2019; Murti, 2022).

$$\text{Incidence Proportion} = \frac{\text{Jumlah kasus baru selama suatu periode waktu}}{\text{Populasi berisiko pada awal studi}}$$

Contoh:



Gambar 4.1: Ilustrasi kasus incidence proportion (Sumber: Gerstman, 2013)

Sebuah studi kohort mengamati sebanyak 5 orang sehat yang terpapar asap rokok, pengamatan dilakukan selama 10 tahun. Selama masa pengamatan terdapat 2 kasus ca paru, maka incidence proportion nya adalah 2 orang/ 5 orang berisiko = 0,4 atau 40%. Hal ini berarti, kohort tersebut berisiko mengalami ca paru sebesar 40% selama 10 tahun.

2. Incidence Rate

Incidence rate merupakan ukuran kecepatan terjadinya penyakit di suatu populasi yang awalnya bebas dari penyakit, namun berisiko sakit atau mengalami penyakit selama suatu periode waktu (Murti, 2022). Incidence rate dikenal juga dengan incidence density dan person time rate (Rothman, 2012; Gerstman, 2013; Heriana et al., 2018; Murti, 2022).

$$\text{Incidence rate} = \frac{\text{Jumlah kasus baru selama suatu periode waktu}}{\text{Jumlah orang-waktu berisiko selama periode waktu}}$$

Contoh: Perhitungan diawali dengan menjumlah total orang-waktu berisiko, sehingga diketahui jumlah orang-tahun untuk kohort.

Tabel 4.1: Contoh Perhitungan (Sumber: Health Knowledge (2022) dalam (Murti, 2022) yang dimodifikasi)

Orang	Tahun					Orang-tahun berisiko
	2017	2018	2019	2020	2021	
1	-----	-----	-----	-----	-----	5,0
2	-----	-----	-----	-----	S	4,5
3	-----	-----	-----	S	-----	3,5
4	-----	-----	-----	S	-----	1,5
5	-----	-----	-----	H	-----	3,5
Total	4	5	4,5	3	1,5	18

Keterangan: ----- = waktu berisiko, S = sakit, H = hilang waktu follow-up

Diketahui dari tahun 2017 hingga 2021 terdapat orang ke-1 menderita selama 5 tahun, orang ke-2 menderita selama 4,5 tahun, orang ke-3 menderita selama 3,5 tahun, orang ke-4 menderita selama 1,5 tahun, dan orang ke-5 menderita selama 3,5 tahun sebelum hilang dari follow-up, sehingga jumlah total orang-tahun adalah 18. Jumlah kasus baru 3 orang, maka incidence rate = $3/18 = 16,7$ kasus per 100 orang-tahun. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan terjadinya penyakit pada kohort adalah 17 kasus per 100 orang-tahun dalam jangka waktu 5 tahun dari tahun 2017 hingga 2021.

4.1.2 Prevalensi

Prevalensi dinyatakan sebagai jumlah kasus, baik kasus baru dan kasus lama pada suatu titik waktu dalam populasi tertentu berdasarkan karakteristik (usia, jenis kelamin, dll.) dan lokasi (Bhopal, 2016). David D. Celentano and Szklo (2019) mendefinisikan prevalensi sebagai jumlah orang yang menderita penyakit dalam populasi di waktu tertentu per jumlah orang dalam populasi di waktu tersebut.

Prevalensi dikenal juga dengan sebutan prevalence rate, namun prevalensi menunjukkan proporsi bukan rate (Schneider and Lilienfeld, 2015; Murti, 2022). Dalam literatur kedokteran dan kesehatan masyarakat, prevalensi sering digunakan dalam dua cara, yaitu point prevalence dan period prevalence (Schneider and Lilienfeld, 2015; David D. Celentano and Szklo, 2019). Ada kalanya prevalensi disebut juga dengan point prevalence (Webb and Bain, 2011; Gerstman, 2013; Katz et al., 2014; Bhopal, 2016) dan prevalence proportion (Gerstman, 2013).

1. Point Prevalence

Point prevalence merupakan jumlah kasus penyakit atau kejadian yang terjadi di suatu titik waktu per jumlah populasi studi pada titik waktu tersebut (Merrill, 2017). Menurut Murti (2022) point prevalence atau prevalensi titik merupakan proporsi dari populasi yang mengalami penyakit pada suatu saat, yang tidak tergantung kapan penyakit itu dimulai.

$$\textit{Point prevalence} = \frac{\text{Jumlah semua kasus baru dan kasus yang ada pada suatu saat}}{\text{Populasi pada saat yang sama}}$$

Contoh: Dalam suatu penelitian terdapat 50 sampel, diantaranya terdapat 10 anak yang mengalami demam tifoid, maka point prevalence nya adalah $10/50 = 1/5$ atau 20%.

2. Period Prevalence

Period prevalence adalah proporsi suatu populasi yang mengalami penyakit dalam suatu periode waktu (Murti, 2022). Period prevalence merupakan jumlah dari prevalensi titik pada awal interval ditambah insidensi selama interval tersebut (Katz et al., 2014).

$$\textit{Period prevalence} = \frac{\text{Jumlah semua kasus yang ada di awal + jumlah semua kasus baru selama suatu periode waktu}}{\text{Populasi pada periode waktu yang sama}}$$

Contoh: Sampel survei adalah ibu hamil dengan umur kehamilan 8-9 bulan yang akan melakukan persalinan sebanyak 1.000 ibu hamil. Diantaranya terdapat 500 ibu hamil yang melakukan pemeriksaan ANC lengkap sebanyak 6 kali, maka period prevalence nya adalah $500/1.000 = 1/2$ atau 50%.

4.2 Metode Pengukuran Mortalitas

Pengukuran mortalitas yang sering digunakan adalah mortality rate atau death rate (Schneider and Lilienfeld, 2015), termasuk bagian dari statistik vital (Gerstman, 2013). Umumnya rate menggunakan ukuran populasi, seperti 100, 1.000, hingga 100.000 penduduk (Webb and Bain, 2011).

Selain rate dapat berupa rasio, seperti case fatality ratio yang umumnya dikenal case fatality rate, namun pada dasarnya merupakan rasio (Webb and Bain, 2011; Murti, 2022), termasuk standardised incidence ratio atau standardised mortality ratio (SIR/SMR), proportional mortality ratio (PMR) (Webb and Bain, 2011), dan infant mortality rate yang jenis datanya adalah proporsi bukan rate (Murti, 2022). Pengukuran mortalitas dapat secara kasar, berdasarkan umur, jenis kelamin, penyebab.

4.2.1 Annual Death Rate

Numerator dari annual death rate adalah total orang yang meninggal dari seluruh penyebab dalam satu tahun dan denominatornya adalah jumlah penduduk pada pertengahan tahun (David D. Celentano and Szklo, 2019). Denominator diambil dari sensus atau perkiraan jumlah populasi hasil perhitungan (Heriana et al., 2018). Jumlah penduduk diambil di pertengahan tahun karena jumlah penduduk selalu berubah tiap waktu (David D. Celentano and Szklo, 2019).

$$\text{Annual death rate} = \frac{\text{Jumlah angka kematian selama periode waktu}}{\text{Jumlah penduduk pada pertengahan periode tertentu}} \times 1.000$$

4.2.2 Crude Death Rate

Crude death rate merupakan jumlah kematian selama 1 tahun dibagi jumlah penduduk pertengahan tahun (Perangin-angin and Tarigan, 2022). Umumnya menggunakan konstanta per 100.000 penduduk (Bouter, Zielhuis and Zeegers, 2018).

$$\text{Crude death rate} = \frac{\text{Jumlah kematian total per tahun}}{\text{Jumlah penduduk pada pertengahan tahun}} \times 100.000$$

4.2.3 Specific Death Rate

Specific death rate adalah angka yang menunjukkan jumlah kematian yang diakibatkan oleh penyakit tertentu selama satu tahun dibagi dengan jumlah penduduk dipertengahan tahun (Perangin-angin and Tarigan, 2022). Jika epidemiolog ingin mengetahui tingkat kematian yang diakibatkan hal tertentu dapat menggunakan specific death rate berdasarkan penyakit dan umur tertentu (Schneider and Lilienfeld, 2015).

$$\text{Specific death rate} = \frac{\text{Jumlah kematian akibat penyakit tertentu}}{\text{Jumlah semua penduduk}} \times 1.000$$

4.2.4 Cause Specific Death Rate

Cause specific death rate merupakan angka yang menunjukkan jumlah kematian yang disebabkan penyakit pada penduduk tertentu (Hamzah, 2022). Epidemiolog menggunakan cause specific death rate untuk membandingkan beban berbagai macam penyakit dalam populasi (Schneider and Lilienfeld, 2015).

$$\text{Cause specific death rate} = \frac{\text{Jumlah kematian akibat penyakit tertentu dalam periode waktu tertentu}}{\text{Jumlah penduduk pertengahan tahun dalam periode yang sama}} \times 100.000$$

4.2.5 Age Specific Death Rate

Age specific death rate adalah angka yang menunjukkan jumlah kematian pada kelompok usia tertentu dalam waktu 1 tahun tiap 1.000 penduduk (Hamzah et al., 2021). Age specific death rate sama dengan crude death rate, namun nominator dan denominatormya dibatasi pada kelompok usia (Heriana et al., 2018).

$$\text{Age specific death rate} = \frac{\text{Jumlah kematian pada umur tertentu dalam periode waktu tertentu}}{\text{Jumlah penduduk pada umur tertentu dalam periode waktu yang sama}} \times 1.000$$

4.2.6 Case Fatality Ratio

Case fatality ratio umumnya dikenal dengan case fatality rate, namun pada dasarnya merupakan bentuk proporsi yang dinyatakan dalam bentuk persen (Schneider and Lilienfeld, 2015; Murti, 2022). Case fatality ratio mirip dengan cause specific death rate tetapi berbeda pada denominatornya yakni bukan jumlah penduduk yang berisiko tetapi jumlah penderita penyakit selama periode waktu tertentu (Schneider and Lilienfeld, 2015).

$$\text{Case fatality ratio} = \frac{\text{Jumlah kematian akibat penyakit tertentu dalam periode waktu tertentu}}{\text{Jumlah penderita penyakit tertentu dalam periode waktu yang sama}} \times 100\%$$

4.2.7 Perinatal Mortality Rate

Perinatal mortality rate merujuk pada jumlah kematian janin dengan jumlah kematian janin dengan usia kehamilan 28 minggu atau lebih ditambah jumlah bayi baru lahir yang meninggal dalam 7 hari pertama setelah kelahiran sebagai numerator dan denominatornya adalah jumlah kelahiran hidup ditambah jumlah kelahiran mati (bayi yang meninggal dalam kandungan, tetapi telah bertahan hidup selama 28 minggu atau lebih kehamilan) (Merrill, 2017). Perinatal mortality rate menunjukkan kematian perinatal setiap 1.000 kelahiran hidup dalam waktu 1 tahun (Hamzah et al., 2021).

$$\text{Perinatal mortality rate} = \frac{\text{Jumlah bayi lahir mati (stillbirth) + jumlah kematian bayi 7 hari postpartum}}{\text{Jumlah bayi lahir mati (stillbirth) + jumlah kelahiran hidup pada tahun yang sama}} \times 1.000$$

4.2.8 Neonatal Mortality Rate

Neonatal mortality rate adalah jumlah kematian bayi berusia < 28 hari per jumlah kelahiran hidup di tahun yang sama (Webb and Bain, 2011; Merrill, 2017). Hanya kelahiran hidup yang dimasukkan sebagai denominator karena hanya bayi yang lahir hidup yang berisiko meninggal sebelum umur 28 hari (Webb and Bain, 2011).

$$\text{Neonatal mortality rate} = \frac{\text{Jumlah kematian bayi usia < 28 hari}}{\text{Jumlah kelahiran hidup pada tahun yang sama}} \times 1.000$$

4.2.9 Postneonatal Mortality Rate

Postneonatal mortality rate adalah jumlah kematian bayi dari usia 28 hari - 1 tahun (Webb and Bain, 2011). Pengukuran ini penting untuk dilakukan pada negara berkembang karena pengukuran ini dipengaruhi oleh malnutrisi dan penyakit infeksi (Merrill, 2017)

$$\text{Postneonatal mortality rate} = \frac{\text{Jumlah kematian bayi usia 28 hari s/d 1 tahun}}{\text{Jumlah kelahiran hidup pada tahun yang sama - jumlah Jumlah kematian bayi usia < 28 hari}} \times 1.000$$

4.2.10 Infant Mortality Rate

Infant mortality rate sering menjadi indikator kesehatan di suatu negara (Merrill, 2017). Nominator adalah jumlah kematian bayi hingga usia 1 tahun dan denominator adalah jumlah kelahiran hidup pada tahun yang sama (Webb and Bain, 2011).

$$\text{Infant mortality rate} = \frac{\text{Jumlah kematian bayi usia 0 - 1 tahun}}{\text{Jumlah kelahiran hidup pada tahun yang sama}} \times 1.000$$

4.2.11 Fetal Death Rate

Fetal death sinonim dengan stillbirth, fetal death rate merupakan pengukuran yang baik dalam menentukan kualitas pelayanan kesehatan di suatu negara (Merrill, 2017). fetal death rate adalah angka yang menunjukkan jumlah kematian janin setiap 1.000 kelahiran hidup dalam 1 tahun (Hamzah, 2022).

$$\text{Fetal death rate} = \frac{\text{Jumlah kematian janin setelah 20 minggu kehamilan}}{\text{Jumlah bayi lahir mati (stillbirth) + jumlah kelahiran hidup pada tahun yang sama}} \times 1.000$$

4.2.12 Maternal Mortality Rate

Maternal mortality rate atau angka kematian ibu merupakan jumlah kematian ibu selama masa kehamilan, melahirkan atau nifas (42 hari post partum) per 100.000 kelahiran hidup (perangin-angin, 2022). Jika kematian ibu tidak terjadi selama masa kehamilan, melahirkan, dan nifas, maka tidak dimasukkan dalam angka kematian ibu, angka kematian ibu ini digunakan sebagai indikator utama dalam penentuan status kesehatan di suatu populasi (Heriana et al., 2018).

$$\textit{Maternal mortality rate} = \frac{\text{Jumlah kematian akibat kehamilan atau persalinan selama periode waktu tertentu}}{\text{Jumlah kelahiran hidup pada tahun yang sama}} \times 100.000$$

Bab 5

Penyakit Tropis: Malaria (Epidemiologi dan Pencegahan)

5.1 Pendahuluan

Penyakit tropis merupakan kelompok penyakit yang banyak dijumpai di kawasan beriklim tropis dan subtropis. Wilayah ini berada di antara garis Cancer dan garis Capricorn, meliputi sebagian besar Asia termasuk Indonesia, sebagian Australia, Amerika Tengah serta Selatan, hingga Afrika. Secara umum, penyakit tropis terbagi menjadi dua jenis, yakni penyakit menular (sering disebut infeksi tropis) dan penyakit tidak menular. Penularannya dapat berlangsung melalui berbagai jalur, seperti bakteri, hewan, udara, air, maupun kontak antar manusia.

Salah satu penyakit tropis yang menjadi masalah global adalah malaria, yang hingga kini masih menjadi penyebab utama kesakitan dan kematian di berbagai belahan dunia. Lebih dari 2,4 miliar penduduk hidup dalam risiko terinfeksi, dengan 92 negara tercatat sebagai daerah endemik, dan

sebagian besar kasus klinis sekitar 300 hingga 500 juta per tahun terjadi di kawasan Sub Sahara Afrika. Malaria menyebabkan sekitar dua juta kematian setiap tahun, dengan angka tertinggi pada anak-anak di bawah lima tahun. Penyakit ini juga berdampak besar terhadap meningkatnya angka kematian ibu dan bayi, serta menurunkan produktivitas masyarakat.

Di Indonesia, sebagai negara kepulauan dengan kondisi iklim beragam, risiko penyebaran malaria semakin dipengaruhi oleh dinamika iklim regional maupun global. Malaria sendiri dikategorikan sebagai re-emerging disease, yakni penyakit yang muncul kembali seiring perubahan faktor lingkungan, seperti suhu, curah hujan, dan iklim.

Faktor lain yang memengaruhi penularannya antara lain keberadaan spesies nyamuk *Anopheles*, perilaku manusia, serta adanya parasit malaria. Perubahan pada salah satu faktor tersebut dapat meningkatkan risiko penularan. Lebih jauh, penyebaran malaria juga berkaitan dengan dampak perubahan global, seperti pergeseran iklim, alih fungsi lahan, keanekaragaman hayati, dan struktur demografi termasuk urbanisasi, yang secara keseluruhan memengaruhi pola epidemiologi malaria. (Lukman Hakim, 2017).

5.2 Pengertian

Malaria merupakan penyakit yang dapat bersifat akut maupun kronis, disebabkan oleh protozoa dari genus *Plasmodium*, dengan tanda klinis berupa demam, anemia, serta pembesaran limpa. Menurut pendapat ahli lain, malaria adalah infeksi akut maupun kronis akibat masuknya *Plasmodium* yang menyerang sel darah merah, ditandai dengan ditemukannya bentuk aseksual parasit dalam sirkulasi darah, serta gejala khas seperti demam, menggigil, anemia, dan hepatosplenomegali. (Prodyanatasari et al., 2024).

5.3 Etiologi

Dalam proses penularan malaria, terdapat dua makhluk utama yang berperan penting, yaitu parasit penyebab malaria (*Plasmodium*) dan nyamuk *Anopheles* betina. Parasit ini memiliki siklus hidup yang kompleks, dimana kelangsungan hidupnya bergantung pada dua inang, yakni manusia dan nyamuk *Anopheles*. Secara global, terdapat empat spesies *Plasmodium* yang mampu menginfeksi eritrosit manusia, yaitu *Plasmodium falciparum*, *Plasmodium vivax*, *Plasmodium malariae*, dan *Plasmodium ovale*.

Masing-masing spesies tersebut menimbulkan manifestasi klinis yang berbeda. Infeksi *Plasmodium falciparum* menimbulkan malaria *falciparum* (atau malaria tropika), yang dikenal sebagai bentuk paling berat karena berhubungan dengan komplikasi mikrovaskular serius, seperti malaria serebral, anemia berat, syok, gagal ginjal akut, perdarahan, hingga gangguan pernapasan.

Sementara itu, *Plasmodium vivax* menyebabkan malaria tertiana, yang tanpa terapi biasanya berlangsung 2–3 bulan, dengan risiko kekambuhan hingga 50% dalam kurun waktu beberapa minggu hingga lima tahun setelah infeksi pertama. Infeksi oleh *Plasmodium malariae* menimbulkan malaria quartana, yang dapat bersifat asimtomatis dalam jangka panjang. Sedangkan *Plasmodium ovale* relatif jarang dijumpai, lebih banyak terdapat di Afrika dan Pasifik Barat, bersifat lebih ringan, serta sering sembuh tanpa pengobatan.

Selain itu, pada kondisi tertentu seseorang dapat terinfeksi lebih dari satu spesies *Plasmodium* sekaligus, yang disebut infeksi campuran (*mixed infection*). Kombinasi yang paling sering adalah *P. falciparum* dengan *P. vivax* atau *P. malariae*, sedangkan infeksi campuran tiga spesies jarang terjadi, umumnya ditemukan di daerah dengan tingkat penularan tinggi. Malaria yang disebabkan *P. vivax* maupun *P. malariae* berpotensi kambuh bila tidak mendapat terapi adekuat. Walaupun infeksi oleh spesies selain *P. falciparum* jarang berakibat fatal, penyakit ini tetap menurunkan kondisi

tubuh dengan gejala berupa demam, menggigil, dan rasa lemah yang biasanya berlangsung 10–14 hari.

Agar dapat terus bertahan, parasit *Plasmodium* harus menetap dalam tubuh manusia cukup lama untuk menghasilkan gametosit jantan dan betina yang dibutuhkan dalam proses penularan. Selain itu, parasit juga harus beradaptasi dengan sifat nyamuk *Anopheles* yang bersifat antropofilik, sehingga memungkinkan terjadinya sporogoni dan menghasilkan sporozoit yang infeksius.

Setiap spesies *Plasmodium* memiliki karakteristik yang berbeda, dan hal ini sangat memengaruhi manifestasi klinis serta cara penularannya. *Plasmodium falciparum* memiliki periode infeksi paling singkat dibandingkan spesies lainnya, tetapi mampu menghasilkan parasitemia dalam kadar tinggi. Gametosit dari *P. falciparum* baru terbentuk sekitar 8–15 hari setelah parasit memasuki aliran darah. Sementara itu, *P. vivax* dan *P. ovale* umumnya menimbulkan parasitemia rendah, gejala klinis yang lebih ringan, serta masa inkubasi yang lebih panjang dibandingkan *P. falciparum*. Namun, sporozoit dari kedua spesies ini dapat berkembang di hati menjadi skizon jaringan primer maupun hipnozoit, dimana hipnozoit berperan sebagai penyebab kambuhnya penyakit (relaps).

Masing-masing spesies *Plasmodium* terdiri atas berbagai strain yang secara morfologis tampak sama, namun berbeda dalam kemampuan beradaptasi terhadap vektor lokal. Strain tertentu yang dapat menginfeksi vektor di suatu wilayah mungkin tidak mampu menginfeksi vektor dari daerah lain. Perbedaan geografis juga memengaruhi lama masa inkubasi maupun pola relaps. Misalnya, *P. vivax* dari Eropa Utara diketahui memiliki masa inkubasi lebih panjang, sementara *P. vivax* dari kawasan Pasifik Barat, termasuk Irian Jaya, memperlihatkan pola relaps yang khas. Selain itu, resistensi terhadap obat antimalaria juga bervariasi menurut strain geografis, sehingga pola resistensi di Irian Jaya berbeda dengan yang ada di Sumatra atau Jawa.

Penularan malaria pada manusia hanya dapat terjadi melalui gigitan nyamuk *Anopheles* betina. Saat menggigit manusia yang sudah terinfeksi

malaria, nyamuk ini menghisap darah yang mengandung Plasmodium. Parasit tersebut kemudian berkembang biak di dalam tubuh nyamuk, dan ketika nyamuk menggigit orang lain yang sehat, Plasmodium akan ditularkan melalui air liur nyamuk. Dari lebih dari 400 spesies Anopheles yang ada di dunia, hanya sekitar 67 spesies yang terbukti dapat menjadi vektor penular karena mengandung sporozoit.

Nyamuk Anopheles banyak ditemukan di daerah tropis dan subtropis, namun sebagian juga dapat bertahan di wilayah beriklim sedang hingga kawasan Antartika. Meskipun begitu, nyamuk ini jarang ditemukan pada ketinggian 2.000–2.500 meter di atas permukaan laut, dan sebagian besar lebih sering dijumpai di dataran rendah. Habitat hidupnya sangat dipengaruhi kondisi ekologi setempat. Beberapa spesies hidup di air payau dengan kadar salinitas tertentu (misalnya *An. sudaicus* dan *An. subpictus*), ada yang berkembang biak di sawah (*An. aconitus*), di air bersih pegunungan (*An. maculatus*), maupun di genangan air yang langsung terkena sinar matahari (*An. punctulatus*, *An. farauti*).

Keberlangsungan hidup nyamuk sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, seperti suhu, kelembaban udara, hingga curah hujan. Tingkat efektivitas nyamuk Anopheles sebagai vektor malaria ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain: kepadatan populasi nyamuk di sekitar pemukiman, kecenderungan menggigit manusia (antropofilia), frekuensi mengisap darah yang dipengaruhi suhu lingkungan, lama proses sporogoni atau perkembangan parasit dalam tubuh nyamuk hingga menjadi infeksi, serta usia nyamuk yang harus cukup panjang untuk memungkinkan proses tersebut berlangsung hingga nyamuk mampu menularkan infeksi.

Nyamuk Anopheles betina biasanya aktif menggigit pada waktu senja hingga menjelang subuh, dengan intensitas yang berbeda-beda tergantung spesiesnya. Pola perilaku makan dan beristirahat nyamuk ini dapat dibedakan menjadi beberapa kategori, seperti endofilik (lebih suka beristirahat di dalam rumah), eksofilik (cenderung berada di luar rumah), endofagi (kebiasaan menggigit di dalam rumah), eksofagi (menggigit di luar rumah), antropofilik (lebih menyukai darah manusia), dan zoofilik (lebih

menyukai darah hewan). Jarak terbang nyamuk ini umumnya terbatas, sekitar 2–3 km dari lokasi perkembangbiakan, meskipun dengan bantuan angin kencang nyamuk dapat terbawa hingga 30 km. Selain itu, nyamuk *Anopheles* juga berpotensi terbawa oleh pesawat atau kapal, sehingga dapat menyebarkan malaria ke wilayah non-endemik.

Proses penularan terjadi ketika nyamuk *Anopheles* menggigit penderita malaria dan mengisap darah yang mengandung parasit *Plasmodium*. Parasit tersebut kemudian berkembang biak di dalam tubuh nyamuk hingga nyamuk menjadi infeksi. Ketika nyamuk yang sudah infeksi menggigit orang sehat, parasit ditularkan melalui air liur nyamuk. Setelah masa inkubasi sekitar 12–30 hari (tergantung jenis parasit), individu yang tergigit dapat mulai menunjukkan gejala malaria, terutama bila sistem pertahanan tubuhnya tidak mampu menahan infeksi (Prodyanatasari et al., 2024).

5.4 Epidemiologi

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa perempuan umumnya memiliki respons imun yang lebih kuat dibandingkan laki-laki, namun kondisi kehamilan justru dapat meningkatkan kerentanan terhadap malaria. Ada beberapa faktor yang memengaruhi risiko seseorang terinfeksi penyakit ini.

Pertama, faktor ras atau etnis. Misalnya, pada populasi di Afrika prevalensi hemoglobin S (HbS) cukup tinggi, yang terbukti memberikan perlindungan terhadap *Plasmodium falciparum*, karena HbS dapat menghambat pertumbuhan parasit tersebut di dalam sel darah merah. Kedua, defisiensi enzim tertentu, seperti kekurangan Glukosa-6-Fosfat Dehidrogenase (G6PD), juga diketahui memberikan perlindungan terhadap infeksi berat oleh *P. falciparum*.

Defisiensi enzim ini bersifat genetik dan lebih sering termanifestasi pada perempuan. Ketiga, kekebalan terhadap malaria dapat terbentuk apabila tubuh mampu menghancurkan parasit *Plasmodium* yang masuk atau menghambat perkembangannya. Dalam hal ini, keberadaan gametosit

dalam darah seseorang berperan penting dalam memungkinkan nyamuk *Anopheles* menjadi terinfeksi, di mana anak-anak sering kali memegang peranan besar sebagai reservoir penularan.

Secara geografis, malaria tersebar luas di wilayah tropis dan subtropis. Meskipun negara-negara seperti Amerika Serikat, Kanada, sebagian besar Eropa, Australia, dan Israel telah dinyatakan bebas dari penularan lokal malaria, tetap ada potensi munculnya kasus wabah terbatas akibat nyamuk setempat yang terinfeksi oleh wisatawan dari daerah endemis. Selain itu, penularan malaria juga dapat terjadi melalui jalur kongenital, yaitu ketika parasit berhasil menembus sawar plasenta, meskipun kasus ini jarang dilaporkan. Sebaliknya, malaria pada neonatus relatif lebih sering ditemukan, biasanya akibat percampuran darah ibu yang terinfeksi dengan darah bayi selama proses persalinan.

5.5 Siklus Parasit Malaria

Nyamuk *Anopheles* betina merupakan inang definitif dalam penularan malaria. Untuk menunjang pertumbuhan dan pematangan telurnya, nyamuk ini membutuhkan darah manusia maupun hewan. Proses perkembangan dari fase jentik hingga menjadi nyamuk dewasa berlangsung sekitar 8–12 hari.

Siklus hidup nyamuk *Anopheles* melibatkan metamorfosis sempurna, yang terdiri dari tahapan telur, jentik (larva), kepompong (pupa), hingga dewasa. Berdasarkan habitatnya, siklus hidup ini terbagi menjadi dua fase, yakni di dalam air dan di darat/udara.

1. Telur. Telur nyamuk diletakkan di permukaan air atau pada benda-benda yang terapung, dengan ukuran sekitar 0,5 mm. Dalam satu kali bertelur, jumlahnya berkisar antara 100–300 butir, rata-rata sekitar 150 butir, dengan interval bertelur setiap dua hingga tiga hari. Telur akan menetas dalam waktu singkat setelah

bersentuhan dengan air, biasanya dalam 2–3 hari, kemudian berubah menjadi jentik.

2. Jentik (larva). Pada tahap ini, larva mengalami empat kali pergantian kulit (molting), yaitu stadium I (± 1 hari), stadium II (1–2 hari), stadium III (± 2 hari), dan stadium IV (2–3 hari). Perbedaan antarstadium dapat dikenali dari ukuran tubuhnya. Pada fase ini belum tampak perbedaan jenis kelamin. Setelah molting terakhir, larva akan berubah menjadi pupa.
3. Kepompong (pupa). Tahap pupa berlangsung sekitar 1–2 hari. Pada fase ini, pupa tidak membutuhkan makanan dan perbedaan jantan serta betina belum terlihat jelas. Biasanya nyamuk jantan menetas lebih dahulu dibandingkan betina.
4. Nyamuk dewasa. Setelah keluar dari pupa, nyamuk akan segera melakukan perkawinan, umumnya pada waktu senja. Perkawinan hanya berlangsung sekali, sebelum nyamuk betina mulai mencari darah sebagai sumber protein untuk perkembangan telurnya. Jumlah jantan dan betina yang menetas umumnya seimbang, tetapi usia jantan lebih pendek, sekitar satu minggu. Nyamuk jantan memperoleh makanan dari cairan buah-buahan atau tumbuhan, dengan jarak terbang yang terbatas di sekitar tempat perindukan. Sebaliknya, nyamuk betina hidup lebih lama, memerlukan darah untuk produksi telur, dan mampu terbang lebih jauh, berkisar antara 0,5 hingga 5 km (Ii & Pustaka, 2009).



Gambar 5.1: Siklus hidup *Anopheles*

5.5.1 Siklus Pada Manusia

Ketika nyamuk *Anopheles* betina yang mengandung parasit malaria menggigit manusia, sporozoit dari kelenjar liurnya akan masuk ke dalam aliran darah dan kemudian menuju jaringan hati. Pada tahap ini, parasit mengalami perkembangan menjadi stadium skizon jaringan di dalam sel hati (stadium ekso-eritrositer).

Setelah sel hati mengalami kerusakan dan pecah, merozoit atau kriptozoit dilepaskan ke sirkulasi darah dan masuk ke dalam eritrosit, membentuk stadium skizon eritrositer. Di dalam sel darah merah, parasit berkembang dari bentuk trofozoit muda hingga skizon matang. Akibatnya, eritrosit pecah dan melepaskan merozoit baru. Sebagian besar merozoit kembali menginfeksi eritrosit, sementara sebagian kecil berdiferensiasi menjadi gametosit jantan maupun betina.

Siklus parasit berlanjut di dalam tubuh nyamuk *Anopheles* betina. Saat nyamuk mengisap darah yang mengandung gametosit, parasit melanjutkan tahap sporogoni. Di dalam lambung nyamuk, gamet jantan (mikrogamet) dan gamet betina (makrogamet) mengalami fertilisasi membentuk zigot.

Zigot kemudian berkembang menjadi ookinet yang menembus dinding lambung nyamuk dan berubah menjadi ookista. Setelah matang, ookista pecah dan melepaskan sporozoit yang bermigrasi ke kelenjar liur nyamuk, siap ditularkan kembali ke manusia pada gigitan berikutnya.

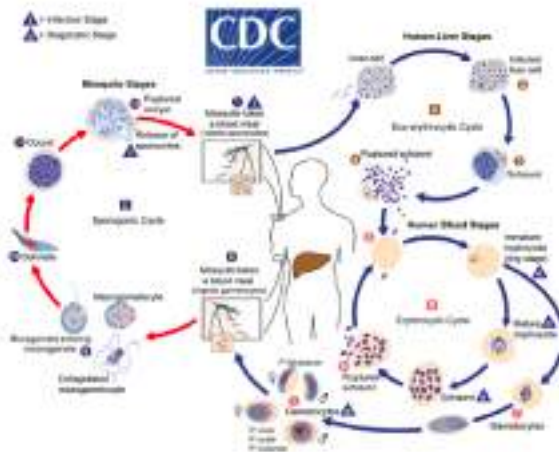
Khusus pada *Plasmodium vivax* dan *Plasmodium ovale*, sebagian parasit yang berada di sel hati tidak langsung melanjutkan siklusnya ke eritrosit, melainkan bertahan dalam bentuk dorman yang disebut hipnozoit. Hipnozoit inilah yang menjadi penyebab terjadinya relaps. Pada individu dengan hipnozoit laten, penurunan daya tahan tubuh akibat faktor seperti kelelahan, stres, atau perubahan musim dapat merangsang hipnozoit untuk kembali aktif, melanjutkan siklus parasit dari hati ke eritrosit, dan menimbulkan gejala malaria berulang. Kondisi ini dapat muncul meskipun pasien tidak kembali tergigit nyamuk *Anopheles*, bahkan setelah 1–2 tahun sejak infeksi awal. Pemeriksaan sediaan darah biasanya akan menunjukkan hasil positif terhadap *P. vivax* atau *P. ovale*.

Pada infeksi *Plasmodium falciparum*, parasit dapat menyebar ke berbagai organ vital seperti otak, ginjal, paru, hati, dan jantung, sehingga memicu malaria berat atau komplikasi. Pada fase lanjut, parasit yang sudah tua dapat menempel pada jaringan kapiler organ, misalnya otak, dalam proses yang dikenal sebagai sekuestrasi. Hal ini menjelaskan mengapa pada kasus malaria berat, plasmodium sering tidak ditemukan dalam darah tepi karena telah tersembunyi di jaringan. Malaria serebral yang disebabkan *P. falciparum* memiliki angka kematian 20–50%. Walaupun demikian, pasien dewasa yang berhasil selamat umumnya tidak mengalami gejala sisa neurologis (sekuele), sedangkan pada anak-anak komplikasi neurologis masih mungkin terjadi.

Di wilayah hiperendemis dengan tingkat imunitas penduduk yang tinggi, pemeriksaan sediaan darah sering menunjukkan hasil positif lebih dari 60% meskipun individu tersebut tidak menampilkan gejala klinis malaria (INDONESIA, 2013; Sutrimah et al., 2019).

5.5.2 Patogenesis Malaria

Patogenesis malaria merupakan hasil interaksi yang kompleks antara parasit, inang, dan faktor lingkungan. Mekanisme utamanya lebih menekankan pada peningkatan permeabilitas pembuluh darah daripada pembentukan bekuan intravaskular. Proses skizogoni yang merusak eritrosit menyebabkan timbulnya anemia. Namun, tingkat keparahan anemia sering kali tidak sebanding dengan jumlah parasit dalam darah, yang mengindikasikan adanya kerusakan eritrosit lain di luar yang terinfeksi. Kondisi ini diduga dipicu oleh toksin malaria yang mengganggu fungsi sel darah merah, sehingga sebagian eritrosit hancur di limpa dan melepaskan parasit. Selain itu, terbentuknya antibodi terhadap eritrosit juga diduga berperan dalam timbulnya anemia.



Gambar 5.2: Siklus hidup Plasmodium

Limpa biasanya mengalami pembesaran, kongesti, dan penumpukan pigmen sehingga lebih rentan pecah. Di dalam limpa sering dijumpai parasit dalam jumlah besar di dalam makrofag, serta proses fagositosis terhadap eritrosit yang terinfeksi maupun yang normal. Pada malaria kronis, terjadi hiperplasia retikulosit yang disertai peningkatan jumlah makrofag.

Pada malaria berat, mekanisme patogenesis utamanya berkaitan dengan invasi merozoit ke eritrosit. Infeksi ini menyebabkan perubahan struktur dan fungsi biomolekuler eritrosit demi mempertahankan kelangsungan hidup parasit. Perubahan tersebut mencakup modifikasi transport membran, peristiwa sitoadherensi, sekuestrasi, serta fenomena rosetting.

Sitoadherensi adalah perlekatan eritrosit yang telah terinfeksi *P. falciparum* pada reseptor endotel venula maupun kapiler. Selain itu, eritrosit yang terinfeksi juga dapat menempel pada eritrosit normal sehingga membentuk struktur roset.

Rosetting sendiri merupakan fenomena di mana satu eritrosit yang berisi merozoit matang dikelilingi oleh sekitar sepuluh atau lebih eritrosit normal, menyerupai bentuk bunga. Faktor yang memengaruhi terjadinya rosetting antara lain golongan darah, karena antigen A dan B dapat bertindak sebagai reseptor di permukaan eritrosit yang tidak terinfeksi.

1. Demam

Demam pada malaria timbul akibat pecahnya eritrosit yang melepaskan merozoit ke dalam sirkulasi darah. Pelepasan merozoit di area dengan aliran darah yang lambat mempermudah invasi ke eritrosit di sekitarnya, sehingga tingkat parasitemia pada *Plasmodium falciparum* biasanya lebih tinggi dibandingkan spesies lain, di mana perpecahan skizon terjadi pada aliran yang lebih aktif. *P. falciparum* mampu menginfeksi semua jenis eritrosit tanpa memandang usia sel, sementara *P. vivax* lebih memilih retikulosit, dan *P. malariae* menyerang eritrosit yang sudah matang. Perbedaan preferensi ini membatasi tingkat parasitemia *P. vivax* dan *P. malariae* hingga kurang dari 20.000 eritrosit/mm³, sedangkan infeksi *P. falciparum* pada anak tanpa imunitas dapat mencapai lebih dari 500.000 parasit/mm³.

2. Anemia

Anemia muncul sebagai akibat hemolisis, sekuestrasi eritrosit di limpa maupun organ lain, serta penekanan fungsi sumsum tulang. Proses hemolisis sering meningkatkan kadar bilirubin serum, dan pada kasus *P. falciparum* dapat menimbulkan hemoglobinuria (blackwater fever). Parasitisasi juga dapat memicu perubahan autoantigen dalam eritrosit, yang bersama dengan meningkatnya kerapuhan osmotik membuat sel darah merah lebih mudah pecah, baik yang terinfeksi maupun tidak. Hemolisis juga bisa dipicu oleh obat seperti kuinin atau primakuin, khususnya pada individu dengan defisiensi enzim G6PD herediter.

3. Pigmentasi jaringan

Pigmen yang dilepaskan selama penghancuran eritrosit akan menumpuk di sel-sel sistem retikuloendotelial, seperti limpa, hati (sel Kupffer), sumsum tulang, otak, dan organ lain. Akumulasi pigmen dan hemosiderin yang signifikan dapat menimbulkan perubahan warna abu-abu kebiruan pada jaringan.

4. Peran imunopatologi

Infeksi malaria juga melibatkan mekanisme imunopatologis, seperti aktivasi poliklonal yang menyebabkan hipergamaglobulinemia, pembentukan kompleks imun, immunosupresi, serta pelepasan berbagai sitokin termasuk TNF.

Bentuk imunitas terhadap malaria dapat diklasifikasikan menjadi:

1. Imunitas alamiah non-imunologis, yaitu faktor genetik polimorfisme yang memberi perlindungan alami, misalnya Hb S, Hb C, Hb E, thalassemia alfa-beta, defisiensi G6PD, serta golongan darah Duffy negatif yang kebal terhadap *P. vivax*. Sebaliknya,

individu dengan HLA-Bw lebih rentan terhadap malaria, meski ada yang terlindungi dari malaria berat.

2. Imunitas didapat non-spesifik, di mana sporozoit yang masuk ke dalam darah segera diserang oleh respon imun bawaan melalui kerja makrofag dan monosit, yang melepaskan sitokin seperti TNF, IL-1, IL-2, IL-4, IL-6, IL-8, dan IL-10. Sitokin ini dapat menghambat pertumbuhan parasit (efek sitostatik) maupun membunuhnya (efek sitotoksik).
3. Imunitas didapat spesifik, yaitu respon imun adaptif terhadap malaria yang memiliki sifat spesies-spesifik, strain-spesifik, dan stadium-spesifik dalam siklus parasit (INDONESIA, 2013).

5.5.3 Manifestasi Klinis

Berdasarkan tingkat keparahannya, malaria dapat diklasifikasikan menjadi dua, salah satunya adalah malaria ringan atau tanpa komplikasi. Meskipun disebut ringan, gejala yang dialami penderita tetap menimbulkan ketidaknyamanan yang cukup berat. Tanda klinis utama biasanya berupa demam dan menggigil, yang sering disertai keluhan lain seperti sakit kepala, mual, muntah, diare, nyeri otot, atau rasa pegal pada tubuh. Variasi gejala sangat dipengaruhi oleh daya tahan tubuh pasien serta jenis Plasmodium yang menjadi penyebab infeksi.

Sebagai penyakit infeksi akibat Plasmodium, demam merupakan manifestasi khas malaria. Mekanismenya diperkirakan berhubungan dengan pecahnya skizon yang melepaskan merozoit (skizogoni), pengaruh glikosil fosfatidil inositol (GPI), maupun pelepasan sitokin dan toksin lain. Namun demikian, tidak semua penderita menunjukkan gejala demam, terutama di daerah hiperendemik, di mana banyak individu memiliki parasitemia tanpa keluhan klinis. Gambaran klasik malaria mencakup demam periodik, anemia, serta splenomegali.

Manifestasi klinis malaria ringan dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Masa inkubasi

Masa inkubasi berkisar antara 8–37 hari, tergantung pada spesies Plasmodium (paling singkat pada *P. falciparum* dan paling lama pada *P. malariae*), tingkat keparahan infeksi, riwayat terapi sebelumnya, atau status imunitas hospes. Penularan dapat terjadi melalui gigitan nyamuk maupun secara induksi, misalnya transfusi darah yang mengandung stadium aseksual parasit.

2. Gejala prodromal

Sebelum timbulnya demam, pasien dapat mengalami keluhan prodromal berupa rasa lemah, malaise, sakit kepala, nyeri punggung, pegal pada tulang dan otot, anoreksia, ketidaknyamanan pada perut, diare ringan, serta sensasi dingin di punggung. Gejala prodromal lebih sering dijumpai pada infeksi *P. vivax* dan *P. ovale*, sedangkan pada *P. falciparum* dan *P. malariae* gejala ini cenderung tidak khas.

3. Gejala klasik (Trias malaria)

Gejala khas yang dikenal sebagai trias malaria (malaria paroksismal) terdiri atas tiga tahap:

- a. Stadium dingin (cold stage): berlangsung sekitar 15 menit–1 jam, ditandai dengan menggigil hebat, rasa dingin ekstrem, gigi gemeretak, nadi cepat tetapi lemah, bibir serta ujung jari pucat kebiruan (sianosis), kulit kering, dan kadang disertai muntah.
- b. Stadium panas (hot stage): bertahan 2–4 jam, ditandai dengan rasa panas berlebihan, wajah kemerahan, kulit kering, sakit kepala, muntah berulang, rasa haus, serta suhu tubuh yang dapat mencapai lebih dari 41°C. Pada anak-anak, demam tinggi sering memicu kejang.

- c. Stadium berkeringat (sweating stage): berlangsung 2–4 jam, ditandai dengan keringat berlebihan, penurunan suhu tubuh (kadang di bawah normal), setelah itu penderita biasanya tidur dan bangun dalam kondisi lemas, meski umumnya dapat kembali beraktivitas.

Keseluruhan siklus klasik ini biasanya memakan waktu 6–10 jam dan lebih sering ditemukan pada penderita dari daerah non-endemis atau pasien yang belum memiliki imunitas terhadap malaria. Di daerah endemis, di mana masyarakat umumnya sudah memiliki kekebalan sebagian, gejala khas sering tidak muncul lengkap atau bahkan tidak berurutan, sehingga variasinya bergantung pada spesies parasit dan status imun individu. Pada wilayah hiperendemis, sebagian penderita bahkan tidak mengalami demam, melainkan hanya menunjukkan gejala nonspesifik seperti diare atau pegal-pegal, yang dikenal sebagai gejala lokal spesifik.

Trias klasik lebih lazim pada malaria vivax, sedangkan pada infeksi *P. falciparum* menggigil dapat berlangsung berat atau justru tidak tampak. Perbedaan interval bebas demam (periode afebril) antar spesies cukup khas, yaitu sekitar 12 jam pada *P. falciparum*, 36 jam pada *P. vivax* dan *P. ovale*, serta 60 jam pada *P. malariae* (Roach, 2012).

5.5.4 Gejala Malaria Berat (Malaria Dengan Komplikasi)

Seorang pasien dikategorikan mengalami malaria berat apabila hasil pemeriksaan laboratorium baik melalui sediaan darah tepi maupun Rapid Diagnostic Test (RDT) menunjukkan adanya parasit malaria, disertai dengan satu atau lebih tanda klinis atau komplikasi berikut:

1. Gangguan kesadaran dengan spektrum yang bervariasi, mulai dari penurunan kesadaran ringan, perilaku yang tidak wajar (seperti mengigau, salah bicara, tampak diam, tidur terus-menerus), hingga kondisi koma.

2. Kelemahan fisik ekstrem, di mana penderita tidak mampu duduk atau berdiri.
3. Kejang berulang.
4. Demam tinggi yang sulit turun.
5. Ikterus (mata atau kulit berwarna kuning).
6. Tanda dehidrasi seperti mata cekung, elastisitas kulit menurun, bibir kering, dan produksi urin berkurang.
7. Perdarahan spontan, misalnya dari hidung, gusi, atau saluran cerna.
8. Gangguan pernapasan berupa napas cepat atau sesak.
9. Muntah terus-menerus disertai ketidakmampuan makan dan minum.
10. Perubahan warna urin menjadi seperti teh pekat atau bahkan kehitaman, disertai penurunan volume urin hingga tidak keluar sama sekali.
11. Anemia berat, ditandai dengan telapak tangan sangat pucat dan kadar hemoglobin di bawah 5 g%.

Pasien dengan kriteria di atas harus segera dirujuk atau dibawa ke fasilitas kesehatan agar memperoleh penanganan medis yang tepat dan cepat, mengingat malaria berat berisiko tinggi menyebabkan kematian bila tidak segera ditangani.

5.5.5 Diagnosis

Anamnesis

Keluhan utama yang sering dijumpai pada pasien malaria mencakup demam dan menggigil, yang bisa disertai dengan sakit kepala, mual, muntah, diare, nyeri otot, atau rasa pegal di seluruh tubuh. Riwayat perjalanan atau bermalam 1–4 minggu sebelumnya ke daerah endemis,

riwayat tinggal di wilayah endemis, riwayat pernah menderita malaria, konsumsi obat antimalaria dalam satu bulan terakhir, serta riwayat transfusi darah perlu digali secara mendetail. Pada anak-anak, gejala klinis sering kali tidak khas.

Pada kasus malaria berat, dapat ditemukan tanda klinis seperti penurunan kesadaran dengan berbagai tingkat, kondisi umum yang sangat lemah, kejang berulang, demam tinggi, ikterus (mata dan tubuh tampak kuning), perdarahan spontan dari hidung, gusi, atau saluran cerna, sesak napas atau napas cepat, muntah terus-menerus dengan ketidakmampuan makan dan minum, warna urin gelap seperti teh pekat atau kehitaman, penurunan produksi urin hingga anuria, serta pucat ekstrem pada telapak tangan.

Pemeriksaan Fisik:

1. Malaria ringan umumnya ditandai dengan demam $\geq 37,5$ °C (diukur dengan termometer), pucat pada konjungtiva atau telapak tangan, serta adanya pembesaran limpa (splenomegali) dan pembesaran hati (hepatomegali).
2. Malaria berat memiliki mortalitas hampir 100% bila tidak ditangani. Dengan terapi yang memadai angka kematian dapat ditekan menjadi sekitar 20%. Infeksi *Plasmodium falciparum* sering kali disertai komplikasi berupa malaria serebral, gangguan kesadaran, kejang multipel, koma, hipoglikemia (gula darah < 50 mg/dL), distress pernapasan, hipertermia (> 40 °C) yang tidak responsif terhadap asetaminofen, hipotensi, gangguan ginjal (oliguria atau anuria, peningkatan kreatinin > 1,5 mg/dL), anemia berat (hematokrit < 20% atau penurunan cepat), parasitemia > 5%, ditemukannya bentuk lanjut (trofozoit matur atau skizon) *P. falciparum* pada apusan darah tepi, hemoglobinuria, perdarahan spontan, serta ikterus.

Pemeriksaan Laboratorium:

1. Pemeriksaan mikroskopis dilakukan melalui sediaan darah tebal dan tipis di fasilitas kesehatan (puskesmas, rumah sakit, atau lapangan). Pemeriksaan ini bertujuan memastikan keberadaan parasit malaria, menentukan spesies dan stadium plasmodium, serta menghitung kepadatan parasit. Pada kasus tersangka malaria berat, bila hasil pemeriksaan pertama negatif, pemeriksaan perlu diulang setiap 6 jam hingga 3 hari berturut-turut. Apabila dalam pemeriksaan darah tebal selama 3 hari tidak ditemukan parasit, maka diagnosis malaria dapat disingkirkan.
2. Rapid Diagnostic Test (RDT) bekerja dengan mendeteksi antigen parasit malaria menggunakan metode imunokromatografi berbentuk dipstik. Tes ini bermanfaat pada pelayanan gawat darurat, situasi kejadian luar biasa, daerah terpencil tanpa fasilitas laboratorium, maupun untuk survei epidemiologi. Penyimpanan RDT idealnya dilakukan dalam lemari pendingin, namun tidak boleh disimpan di dalam freezer.
3. Pemeriksaan penunjang malaria berat meliputi darah rutin, pemeriksaan kimia darah (gula darah, bilirubin serum, SGOT, SGPT, alkali fosfatase, albumin/globulin, ureum, kreatinin, natrium, dan kalium), analisis gas darah, EKG, foto toraks, analisis cairan serebrospinal, biakan darah, uji serologi, serta urinalisis (Eni, 1967).

5.6 Upaya Pencegahan Gigitan Nyamuk Anopheles

1. Pemasangan kawat kasa

Salah satu langkah untuk mencegah masuknya nyamuk ke dalam rumah adalah dengan memasang kawat kasa pada ventilasi, pintu, maupun jendela. Sebagai alternatif yang lebih ekonomis, dapat digunakan kasa dengan perekat karet di sekelilingnya, yang dipasang menggunakan alat khusus pada kusen pintu maupun jendela.

2. Penggunaan kelambu anti nyamuk

Sejak lama, sebelum dikenal bahan anti nyamuk modern, masyarakat telah memakai kelambu saat tidur untuk melindungi diri dari gigitan nyamuk. Kelambu berfungsi sebagai penghalang agar nyamuk infektif tidak dapat menggigit orang sehat, sekaligus mencegah nyamuk sehat menggigit orang yang sedang terinfeksi malaria.

3. Pemakaian insektisida rumah tangga

Produk insektisida rumah tangga kerap digunakan untuk mengusir maupun menghindari gigitan nyamuk. Salah satu bentuknya adalah anti nyamuk bakar (Mosquito Coil/MC) yang dibuat dari campuran bahan aktif (biasanya piretroid sebagai agen knockdown) dengan bahan pembawa seperti tepung, tempurung kelapa, serbuk kayu, zat lengket, serta tambahan lain berupa pewangi, antijamur, dan pewarna. Variasi produk ini berkembang dengan beragam warna, bentuk, dan aroma guna menarik konsumen.

Selain itu terdapat anti nyamuk semprot (Aerosol/AE), yakni formulasi siap pakai yang cukup populer setelah MC dan liquid.

Aerosol dibuat dengan melarutkan bahan aktif dalam pelarut organik, dimasukkan ke dalam kaleng, lalu ditambahkan gas pendorong (propelan) untuk menghasilkan butiran semprot halus melalui nosel.

4. Spatial Repellents

Penggunaan kelambu berinsektisida (ITN) dan penyemprotan residu dalam ruangan (IRS) terbukti menurunkan angka malaria, tetapi kini muncul masalah resistensi yang menurunkan efektivitas kedua metode tersebut.

Spatial repellents didefinisikan sebagai bahan kimia volatil yang dilepaskan ke udara untuk menciptakan ruang aman dari gigitan nyamuk, dengan cara mengganggu interaksi antara manusia dan vektor. Produk ini mencegah nyamuk mendekati manusia, sehingga mengurangi risiko penularan. Salah satu bentuk yang umum digunakan adalah obat nyamuk bakar, yang murah, mudah dipakai, mampu bertahan 8–9 jam, namun asapnya berpotensi menimbulkan masalah kesehatan.

Mekanisme kerja spatial repellents:

1. Menghalangi nyamuk masuk ke dalam rumah, sehingga menurunkan risiko gigitan.
2. Mengganggu kemampuan nyamuk mengenali manusia sebagai sumber darah, sehingga proses mengisap darah dan produksi telur ikut terganggu.
3. Memengaruhi perilaku kawin nyamuk, sehingga mengurangi kemampuan reproduksi.
4. Dalam dosis tertentu, juga dapat menyebabkan kematian nyamuk.

Efektivitas spatial repellents sangat dipengaruhi oleh kadar bahan aktif yang dilepaskan serta jarak antara produk dengan nyamuk. Karena tujuan utama adalah mencegah gigitan, bukan membunuh, maka dosis tinggi tidak diperlukan untuk mendapatkan efek perlindungan (Utami et al., 2022).

Bab 6

Penyakit Tropis: Demam Berdarah Dengue (DBD)

6.1 Pendahuluan Penyakit Tropis: DBD

DBD (Demam Berdarah Dengue) adalah penyakit demam akut yang disebabkan oleh virus dengue yang masuk ke peredaran darah manusia melalui gigitan nyamuk dari genus *Aedes*, seperti *Aedes aegypti* atau *Aedes albopictus*. Gejala yang sering terjadi pada DBD adalah demam, sakit kepala, nyeri otot, mual, muntah, ruam kulit, dan nyeri sendi. DBD adalah bentuk yang lebih serius dari infeksi virus dengue. Proses infeksi bermula ketika nyamuk yang terinfeksi virus menggigit seseorang untuk mencari darah sebagai sumber makanan dan penyakit DBD ini bisa sangat berbahaya jika tidak segera di tangani dan bahkan bisa menyebabkan kematian.

Lingkungan dan perilaku manusia berperan besar menjadi penyebab utama DBD. DBD biasanya terjadi ketika manusia tidak menguras bak air, tidak

menutup tempayan air, mengubur sampah dengan membiarkan genangan air di sekitar rumah mereka, kemudian kesadaran manusia kurang dalam memperhatikan kebersihan lingkungan rumah mereka sehingga dapat terjangkau penyakit DBD.

Penyakit DBD ini sangat berbahaya dan bahkan jika lambat ditangani dapat menyebabkan kematian, untuk itu diperlukan perawatan yang kompeten dan profesional untuk mencegah angka kematian dari penderita DBD sehingga banyak klien bisa tertolong dan terselamatkan dengan bantuan dari tenaga medis dan juga tim kesehatan.

6.2 Latar Belakang Penyakit Tropis: DBD

Demam berdarah merupakan sebuah penyakit yang menular disebabkan dari adanya virus dengue serta disebarkan oleh vektor (Nuryanti et al., 2022). Vektor penularan penyakit tersebut asalnya dari nyamuk dengan jenis *Aedes albopictus* dan *Aedes aegypti*. Kriteria vektor penular memberikan penentu dalam penyebaran serta waktu terjadinya infeksi. Habitat nyamuk jenis ini biasanya ada dalam daerah yang memiliki iklim tropis, suhu panas dan lembab serta curah hujan yang tinggi (Kemenkes RI, 2022).

Ini berkaitan pada naiknya suhu tinggi serta berubahnya musim kemarau dan hujan yang dinilai sebagai faktor penyebab penyebaran virus dengue (Arisanti & Suryaningtyas, 2021). Selama dua dekade terakhir, kasus demam berdarah telah meningkat 8 kali lipat. Wabah demam berdarah biasanya terjadi di benua Asia, Amerika, Australia dan Afrika. Serotipe virus dengue mengakibatkan seseorang terkena demam berdarah dan bisa mengalami perubahan saat terjadi peristiwa luar biasa (Schaefer et al., 2022).

WHO (2021) memberikan perkiraan ada 100-400 juta kasus infeksi demam berdarah di seluruh dunia setiap tahunnya pada semua golongan umur. Asia memiliki jumlah kasus demam berdarah tertinggi, mencapai 70%

kasus setiap tahunnya. Demam berdarah diketahui sebagai penyebab utama dan morbiditas mortalitas di Asia Tenggara, dengan 5% dari seluruh kasus demam berdarah di Asia Tenggara terjadi di Indonesia (WHO, 2021). Dalam data dari Profil Kesehatan Indonesia, menjelaskan sepanjang tahun 2021 tercatat ada sebanyak 73.518 kasus.

Jumlahnya itu mengalami penurunan 32,12% daripada di 2020 yaitu sekitar 108.303 kasus. Dari adanya banyak kasus itu, maka angka kesakitan/Incidence Rate (IR) kasus DBD di dalam 2 negeri ada IR=27% setiap 100.000 penduduk. Angka tersebut mengalami penurunan 32,5% daripada dalam periode di 2020 ada 40% setiap 100.000 penduduk. Case Fatality Rate (CFR) atau banyaknya kematian di 2021 ada 705 kasus, jumlahnya tersebut mengalami penurunan 5,62% daripada di tahun 2020 yaitu ada 747 kematian. Kemudian, di 2022, banyaknya kasus dengue ada 131.256 kasus dimana ada 40% merupakan anak-anak berusia 0-14 tahun. Sedangkan banyaknya kematian ada 1.135 kasus dengan 73% dialami oleh anak usia 0-14 tahun (Kemenkes RI, 2022).

Pasien DBD biasanya mengalami demam tinggi, penurunan jumlah trombosit secara drastis (Wang et al., 2019), sakit kepala, mual, muntah, nyeri sendi dan ruam pada kulit (Pare et al., 2020). Hal ini dapat menyebabkan beberapa orang tua meremehkan tingkat keparahan penyakitnya dan hanya memberikan obat, menunggu beberapa hari sebelum membawa pasien ke dokter atau pusat kesehatan. Jika pasien tidak dirujuk dan dirawat dengan segera, kondisinya bisa menjadi kritis (Wang et al., 2019). Pasien dengan DBD yang tidak diobati bisa terjadinya Dengue Shock Syndrome (DSS), dimana bisa 3 mengakibatkan kematian mencapai 40%.

Ini disebabkan karena pasien terkena hipovolemia atau defisit volume cairan dari adanya peningkatan permeabilitas kapiler, dan menyebabkan darah bocor keluar dari pembuluh darah (Pare et al., 2020). Umumnya, lingkungan dan perilaku manusia berperan besar dalam menjadi penyebab utama DBD. Ini terjadi ketika manusia tidak membersihkan bak air dan membiarkan genangan air di sekitar rumah mereka. (Wang et al., 2019).

Dalam hasil penelitian yang dilaksanakan oleh (Asri et al., 2017), faktor perilaku seperti sikap, pengetahuan, serta tindakan berpengaruh terhadap penyebaran DBD, selain faktor vektor dan lingkungan.

Perilaku masyarakat juga berperan penting dalam penularan penyakit DBD, tetapi perilaku yang tepat harus didorong dengan, sikap, pengetahuan dan tindakan yang tepat. Namun, saat ini ada pendapat dalam masyarakat yang menjelaskan adanya tindakan kurang tepat, seperti menganggap jika DBD hanya dialami dalam wilayah yang kumuh dan bahwa pengasapan atau fogging yaitu sebuah cara sebagai pencegahan demam berdarah. Padahal, pemerintah telah melakukan berbagai program pencegahan, termasuk aktivitas Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) memakai metode 3M Plus yang merupakan metode yang terefektif dan terefisien sampai saat ini (Kemenkes RI, 2022).

6.3 Pengertian Penyakit Tropis: DBD

Pengertian Dengue Hemorrhagic Fever (DBD), biasanya dinamakan dengan penyakit demam berdarah merupakan sebuah penyakit yang dikarenakan adanya infeksi virus dengue, yang penularannya dikarenakan adanya gigitan dari nyamuk *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus*. Virus dengue virus vector-borne (Arbovirus) yang melular pada seseorang dari adanya gigitan nyamuk *Aedes (stegomyia) aegypti* atau *Ae* (Andriyani, et al., 2021).

Menurut (Indriyani & Gustawan, 2020) Demam Berdarah Dengue (DBD) yaitu sebuah infeksi yang ditandai dari bocornya plasma darah. Tahapan awal penyakit ini bisa seperti demam biasa dengan temperatur sekitar 39-40°C dan bifasik). Dalam DBD, terlihat ada perubahan plasma leakage dan faal hemostasis. Kelainannya itu ditandai dari adanya penurunan trombosit darah serta meningkatnya hematokrit.

6.4 Etiologi Penyakit Tropis: DBD

Etiologi Demam berdarah dikarenakan adanya satu dari empat serotipe yang tidak sama (DENV 1-4) dari virus RNA beruntai tunggal dari genus *Flavivirus*. Infeksi oleh satu serotipe memberikan hasil kekebalan seumur hidup pada serotipe itu namun tidak dalam serotipe lainnya (Schaefer et al., 2022). Dengue Virus mempunyai karakteristik yang mirip pada genus *Flavivirus* yang lain. Genom virus dengue diantaranya ada RNA (RiboNucleat-Acid) menggunakan rantai tunggal. RNA tersebut dikelilingi oleh nukleokapsid ikosahedral dan ditutupi oleh lapisan lipid yang disebut envelope.

Virus ini memiliki bentuk batang, bersifat mudah terurai oleh panas (thermolabil), sensitif pada inaktivasi oleh natrium dioksikolat dandietileter, serta stabil dalam temperatur 70°C. Diameter virus dengue berkisar sekitar 50nm. Genom flavivirus memiliki panjangnya sekitar 11 kilobase, terdiri dari tiga protein struktural yaitu protein inti (core C) yang bertanggung jawab atas enkapsulasi genom, protein amplop (envelope E) dan protein membran (membrane M). Selain itu, terdapat tujuh gen tambahan yang mengodekan protein non-struktural (NS) (Indriyani & Gustawan, 2020).

Virus Dengue merupakan penyebab utama dari Dengue Hemorrhagic Fever (DBD) atau Demam Berdarah Dengue (DBD). Namun faktor etiologi lain yang memengaruhi terjadi DBD menurut Halstead, (2017) adalah:

1. Faktor lingkungan.

Lingkungan yang tidak bersih atau tidak higienis dapat menjadi tempat berkembangbiaknya nyamuk *Aedes aegypti* yang merupakan vektor penyebar virus dengue. Kondisi lingkungan yang tidak bersih seperti limbah, genangan air, dan daerah yang lembab bisa digunakan tempat nyamuk berkembangbiak.

2. Faktor genetic

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa faktor genetik dapat memengaruhi keparahan DBD pada individu yang terinfeksi virus dengue. Hal ini disebabkan karena faktor genetik dapat memengaruhi respons imun tubuh terhadap virus tersebut.

3. Faktor imunologi.

Sistem imun yang lemah pada individu dapat meningkatkan risiko terjadinya infeksi virus dengue dan keparahan DBD. Faktor imunologi yang memengaruhi risiko terkena DBD meliputi kekurangan vitamin D, adanya kondisi medis yang memengaruhi sistem imun, dan adanya riwayat infeksi virus dengue sebelumnya.

6.5 Manifestasi Klinis Penyakit Tropis: DBD

Menurut (Amir et al., 2021), manifestasi klinis Demam Berdarah Dengue (DBD) yaitu:

1. Demam terjadi secara mendadak dengan suhu tinggi 40°C berlangsung 2 sampai 7 hari.
2. Perdarahan biasa terjadi pada demam hari ke-2 dan ke-3 menggunakan uji tourniquet menghasilkan petekia (bintik-bintik merah yang disebabkan intradernal), purpura (perdarahan pada kulit), epistaksis (mimisan), perdarahan gusi.
3. Trombositopenia
4. Nyeri otot dan sendi bersamaan dengan leukopenia, ruam, limfadenofati.
5. Adany perembesan plasma dengan bertanda hemokonsentrasi ataupun menumpuknya cairan di rongga tubuh.

6. Renjatan (syok), biasa dialami dalam hari ke 3 saat awal demam, tanda kegagalan dari sirkulasi yakni dingin, kulit lembab dalam jari tangan, ujung hidung, serta hari kaki dan sianosis di sekitar mulut.

6.6 Klasifikasi Penyakit Tropis: DBD

Klasifikasi DBD terbagi dalam empat derajat menurut (Andriyani, et al., 2021) yaitu:

1. Derajat I: Demam dengan adanya manifestasi perdarahan dalam pengujian trombositopenia, himokonsentrasi, tourniquet positif.
2. Derajat II: Derajat I serta terjadi perdarahan spontan dalam kulit ataupun yang lainnya.
3. Derajat III: terjadi gagalnya sirkulasi, dan ditandai dengan lemahnya nadi, hipotensi, gelisah dan kulit yang dingin.
4. Derajat IV: Sirkulasi terjadi kegagalan, tekanan darah tidak teratur dan nadi tidak teraba.

6.7 Patofisiologi Penyakit Tropis: DBD

Sesudah virus dengue masuk ke dalam tubuh penderita, dapat menyebabkan kondisi viremia. Keberadaan virus dalam darah akan merangsang pusat pengatur suhu di hipotalamus, yang kemudian memicu pelepasan zat seperti thrombin, serotonin, bradikinin, dan histamin.

Reaksi ini mengakibatkan demam. Selain itu, dapat juga menyebabkan pelebaran dinding pembuluh darah, sehingga terjadi perpindahan cairan dan plasma dari dalam pembuluh darah ke ruang antar sel (intersisial). Hal ini dapat menyebabkan hipovolemia atau penurunan volume cairan dalam

sirkulasi. Selain itu, trombositopenia (penurunan jumlah trombosit) dapat terjadi sebagai respons dari sistem kekebalan tubuh yang menghasilkan antibodi melawan virus, yang memengaruhi produksi trombosit dalam tubuh (Candra, 2019).

Pada pasien yang mengalami trombositopenia, gejala yang muncul meliputi perdarahan pada kulit terjadi pendarahan atau petekia pada mukosa yang ada dalam mulut. Kondisi tersebut menyebabkan gangguan dalam kekebalan tubuh yang menjalankan melakukan mekanisme hemostasis engan normal. Hal ini bisa menyebabkan perdarahan, serta apabila tidak ditangani dengan baik, dapat menyebabkan syok. Virus dengue memiliki masa inkubasi dalam 3 sampai 15 hari, dengan rata-rata 5 sampai 8 hari.

Virus ini masuk dalam tubuh seseorang dalam gigitan nyamuk *Aedes aegypti*. Sesudah masuk ke tubuh, virus menyebabkan viremia yang berdampak pada penderita terjadi sakit kepala, demam, nyeri otot, mual, bintik merah, ruam, pembesaran kelenjar getah bening, hiperemia tenggorokan serta bisa mengakibatkan adanya pembesaran hati (hepatomegali) (Candra, 2019).

Setelah terbentuknya kompleks virus-antibodi, kompleks tersebut akan beredar pada sirkulasi serta mengaktifkan sistem komplemen. Pengaktifan C3 dan C5 dalam sistem komplemen menghasilkan peptida C3a dan C5a, yang berperan menjadi mediator kuat untuk meningkatkan permeabilitas dinding kapiler pembuluh darah. Hal ini menyebabkan perpindahan plasma dari dalam pembuluh darah ke ruang ekstraseluler.

Perpindahan plasma ini mengakibatkan kekurangan volume plasma, yang pada gilirannya menyebabkan hipotensi (tekanan darah rendah), hemokonsentrasi (peningkatan konsentrasi zat terlarut dalam darah), hipoproteinemia (penurunan kadar protein dalam darah), dan renjatan serta efusi (syok). Hemokonsentrasi, yang ditunjukkan dengan meningkatnya nilai hematokrit (>20%), merupakan indikator kebocoran pembuluh darah, dan nilai hematokrit ini penting dalam menentukan pemberian cairan intravena yang tepat (Candra, 2019).

Bocornya plasma ke dalam ruang ekstra vaskuler dapat terbukti ari adanya penumpukan cairan pada rongga serosa, seperti rongga pleura, peritonium, serta perikardium. Dalam otopsi, jumlah cairan yang ditemukan dalam rongga-rongga tersebut melebihi jumlah cairan yang diambil dalam infus. Sesudah memberikan pemberian intravena, meningkatnya trombosit ditunjukkan dari kebocoran plasma yang telah diatasi. Oleh karena itu, dalam memberikan cairan intravena perlu dilakukan pengurangan dalam hal jumlah dan kecepatannya, agar bisa digunakan sebagai pencegahan adanya gagal jantung dan edema paru.

Namun, apabila pasien tidak memperoleh cairan yang baik, mereka bisa terjadi kekurangan cairan yang bisa menyebabkan keadaan yang tidak baik sampai dengan renjatan. Jika renjatan atau hipovolemia berlangsung dalam jangka waktu yang lama, dapat terjadi kekurangan oksigen dalam jaringan, asidosis metabolik, dan akhirnya kematian jika tidak ditangani secara maksimal (Candra, 2019).

6.8 Pemeriksaan Diagnostik Penyakit Tropis: DBD

Menurut Andriyani,etal., (2021) Pemeriksaan diagnostik untuk menegakkan diagnosa Demam Berdarah Dengue diperlukan beberapa pemeriksaan antara lain:

1. Darah Lengkap: Hemokonsentrasi (hematokrit meningkat 20% atau lebih), trombositopenia ($100.000/mm^3$ atau kurang). Leukosit sering dijumpai normal dapat disertai dengan peningkatan neutrofil.
2. Rontgen thoraks: Efusi pelura
3. Serologi: Uji HI (Hemoagglutination Inhibition Test) Pemeriksaan penunjang yang biasanya diterapkan yaitu memeriksa serologi IgM

dan IgG, dan memeriksa pada darah dengan lengkap. Pada pemeriksaan serologi tersebut, bisa terlihat jenis infeksi yang dialami, apa infeksi primer ataupun sekunder. Pada pemeriksaan darah lengkap terdapat beberapa parameter yang terlihat, dan biasanya hematokrit, trombosit, serta leukosit (Stithaprajna Pawestri et al., 2020).

4. Penatalaksanaan Menurut (Andriyani, et al., 2021) di dalam bukunya, pengobatan untuk virus dengue ini, bersifat mengurangi gejala agar pasien mampu bertahan hidup. Biasanya pengobatan yang dilakukan adalah untuk menurunkan demam, nyeri pada sendi. Selanjutnya pasien dianjurkan untuk banyak istirahat, banyak minum dan jika suhu tinggi kompres dengan air dingin secara intensif.

Ada beberapa penatalaksanaan yang bisa dilakukan pada pasien DBD, diantaranya:

- a. Minum banyak 1,5 liter-2liter/24 jam dengan susu, gula, atau air teh
- b. Apabila demam dapat diberi antipiretik
- c. Memberikan antikonvulsan jika ada kejang
- d. Pemberian cairan melalui infus, diterapkan apabila pasiennya merasakan susah minum serta peningkatan hematokrit. Hati-hati dalam pemberian cairan jika terlalu banyak dapat menyebabkan kematian, cairan intravena bisa terhenti sesudah 36-48 jam.

Adapun menurut (Schaefer et al., 2022), Pengelolaan demam berdarah bergantung pada tahap penyakit pasien. Jika pasien datang pada tahap awal tanpa tanda-tanda peringatan, mereka dapat menerima perawatan rawat jalan dengan menggunakan asetaminofen dan cairan oral yang cukup. Mereka harus diberikan penjelasan mengenai tanda-tanda bahaya dan

diminta untuk segera mencari bantuan medis jika tanda-tanda tersebut muncul.

Namun, pasien dengan tanda-tanda peringatan, demam berdarah parah, atau kondisi khusus seperti bayi, lansia, kehamilan, diabetes, dan tinggal sendirian, perlu dirawat inap. Pasien dengan tanda-tanda peringatan dapat menerima infus kristaloid IV, dan pemberian cairan akan disesuaikan berdasarkan respons pasien. Jika pasien mengalami syok, pemberian koloid dapat dipertimbangkan.

6.9 Komplikasi Penyakit Tropis: DBD

Menurut (Andriyani, et al., 2021) Komplikasi yang dapat terjadi pada pasien dengan DBD adalah:

1. Dengue Syok Syndrom (DSS) Tanda dan gejala yang dialami adalah demam turun akan tetapi keadaan anak memburuk, anak tampak latergi dan gelisah, nyeri perut dan nyeri tekan abdomen, muntah, pembesaran hati, oliguria, perdarahan mukosa, akumulasi cairan, kadar hematokrit meningkat disertai penurunan cepat trombosit. SSD dibagi menjadi syok terkompensasi dan dekompensasi, DSS terkompensasi ditandai dengan anak gelisah, takikardi, takipnea, tekanan nadi (antara sistolik dan diastolik berbeda)
2. Expanded Dengue Syndrome (EDS) Expanded Dengue Syndrome merupakan efek dari infeksi dengue, yang melibatkan orang lain (organopati) ataupun diakibatkan faktor berlebihan pengobatan. Kriteria EDS harus memenuhi kriteria infeksi dengue syok atau tanpa syok, disertai komplikasi atau tanda dan gejala yang tidak lazim (unusual manifestations) seperti perdarahan masif, ensefalopati, ensefalitis, gagal ginjal akut gangguan elektrolit,

haemolytic uremic syndrom (HUS), miokarditis, fluid overload ataupun infeksi ganda.

6.10 Pemeriksaan Penunjang Penyakit Tropis: DBD

Menurut Wijayaningsih (2017), Adapun pemeriksaan penunjang yang mungkin dilakukan pada pasien yang menderita DBD ialah:

1. Pemeriksaan Darah Lengkap

Dilakukan pemeriksaan darah rutin dengan tujuan memeriksa Hemaglobin, Hematokrit, jumlah Trombosit.

- a. Leukopnia ialah yang ditemukan pada orang yang mengalami DBD terlebih pada hari ke dua.
- b. Juga trombositopnia dan hemokonsentrasi dapat menandakan bahwa DBD
- c. Ketika pemeriksaan kimia dara dapat ditemukan hipoproteinemia, Hipokloremia, SGPT, SGOT, ureum, dan Ph darah juga meningkat.

2. Uji Serologi

Pada tes HI (Hemaglutinasi) tes serologis mendasari munculnya antibodi pada orang yang sakit terjadi setelah infeksi ditentukan dengan mendasari perkembangan respon antigen-antibodi.

3. Uji Hambatan Hemaglutinasi

Pada metode ini dengan mencampur titer IgM dan IgG dengan mengukur berdasarkan kemampuan antibody-dengue yang memungkinkan menghambat reaksi hemaglutinasi dara angsa oleh virus dengue.

4. Uji ntralisasi (Nuetralisasi Test = NT test)
Menggunakan uji serologi yang spesifik dan sensitif ada virus dengue menggunakan metode plague reduction neutralization test (PRNT). Plague adalah daerah tempat virus menginfeksi batas sel.
5. Uji ELISA anti dengue
Dengan uji ini mempunyai sensitivitas dengan uji Hemagglutination Inhinition (HI) ketika menggunakan metode ini artinya samacdengan mendeteksi lebih detail adanya antibody IgM dan IgG didalam serum penderita.
6. Rontgen Thorax: dengan foto thorax (pada DBD frade III/IV dan sebagian besar grade II) didapatkan efusi pleura.

Bab 7

Epidemiologi Tuberkulosis dan Kusta

7.1 Pendahuluan

Indonesia termasuk ke dalam daftar negara dengan beban insidensi tuberkulosis (TB) tertinggi menurut WHO. Hingga saat ini, TBC masih menjadi persoalan besar dalam kesehatan masyarakat nasional. Laporan Global TB Report 2024 menempatkan Indonesia di posisi kedua setelah India dalam jumlah kasus TB. Diperkirakan ada sekitar 1.090.000 kasus baru dengan 125.000 kematian setiap tahun, atau setara 14 kematian per jam. Pada tahun 2024, tercatat 885 ribu kasus TB, terdiri atas 496 ribu pada laki-laki, 359 ribu pada perempuan, serta 135 ribu pada anak-anak usia 0–14 tahun. Data ini memperlihatkan pentingnya peningkatan pencegahan dan perawatan di seluruh wilayah Indonesia

Tuberkulosis merupakan penyakit yang bisa dicegah sekaligus disembuhkan. Penularan terjadi lewat udara ketika penderita batuk, bersin,

atau meludah. Secara global, pada tahun 2023 diperkirakan 10,8 juta orang terinfeksi TB, meliputi 6 juta laki-laki, 3,6 juta perempuan, dan 1,3 juta anak-anak. Pada tahun yang sama, 1,25 juta kematian dilaporkan, termasuk 161 ribu di antaranya adalah pengidap HIV. TB kini kembali menjadi penyebab utama kematian akibat satu agen infeksi, setelah sempat digantikan COVID-19 selama tiga tahun. Selain itu, TB juga masih menjadi penyebab kematian terbesar pada orang dengan HIV dan salah satu penyebab utama kematian terkait resistensi antimikroba (Global Tuberculosis Report, 2024)

Tantangan yang muncul adalah semakin meningkatnya kasus TB seiring melonjaknya prevalensi HIV/AIDS serta bertambahnya kasus multidrug resistant-TB (MDR-TB). Hasil studi di Jakarta menunjukkan lebih dari 4% kasus baru sudah termasuk kategori MDR.

Upaya penanggulangan TBC paru bertujuan menurunkan angka kesakitan dan kematian, memutus rantai penularan, serta mencegah MDR-TB. Epidemiologi TB memiliki peran penting dalam penyediaan informasi mengenai distribusi, faktor risiko, dan pola penyakit di suatu wilayah. Data tersebut krusial untuk perencanaan strategi pencegahan dan pengendalian, termasuk pelacakan kontak, serta evaluasi efektivitas program kesehatan. Kajian epidemiologi membantu mengenali populasi berisiko, memantau beban penyakit, serta menilai dampak intervensi kesehatan masyarakat sehingga strategi eliminasi dapat disesuaikan secara tepat.

Secara global, kasus TB mengalami peningkatan. Pada tahun 2023, diperkirakan terdapat 10,8 juta kasus insiden (interval 95%: 10,1–11,7 juta), naik dari 10,7 juta di tahun 2022, 10,4 juta di tahun 2021, dan 10,1 juta di tahun 2020. Kenaikan ini mencerminkan dampak lanjutan dari terganggunya layanan TB saat pandemi COVID-19. Tingkat insidensi TB global juga meningkat 4,6% dari 129 kasus per 100.000 penduduk (tahun 2020) menjadi 134 per 100.000 (tahun 2023). Padahal, sebelum pandemi tren sempat menurun 2% per tahun.

Negara-negara dengan beban penyakit yang tinggi menyumbang 87% dari seluruh kasus insiden yang diperkirakan di seluruh dunia, dengan delapan

negara diantaranya menyumbang lebih dari dua pertiga total global: India (26%), Indonesia (10%), Tiongkok (6,8%), Filipina (6,8%), Pakistan (6,3%), Nigeria (4,6%), Bangladesh (3,5%), dan Republik Demokratik Kongo (3,1%). Lima negara teratas menyumbang 56% dari total global.

TB dapat menyerang semua usia dan jenis kelamin, meski beban terbesar berada pada laki-laki dewasa (≥ 15 tahun) dengan perkiraan 6 juta kasus (55% dari total global). Perempuan dewasa diperkirakan menyumbang 3,6 juta kasus (33%), sedangkan anak-anak usia 0–14 tahun sekitar 1,3 juta kasus (12%). Tingginya proporsi pada laki-laki sesuai dengan survei prevalensi TB nasional yang menunjukkan kecenderungan lebih banyak kasus pada laki-laki, serta adanya kesenjangan dalam deteksi dan pelaporan kasus di kelompok inasional, yang menunjukkan bahwa penyakit TB lebih banyak menyerang laki-laki dibandingkan perempuan, dan kesenjangan dalam deteksi dan pelaporan kasus lebih tinggi di kalangan laki-laki.

7.1.1 Morbiditas dan Mortalitas

Secara global, sekitar 10,6 juta orang menderita TB pada tahun 2022. Angka ini meningkat dibandingkan 10,3 juta pada 2021 dan 10 juta pada 2020, sehingga kecenderungan penurunan sebelum pandemi diperkirakan baru dapat kembali terlihat pada 2024. Di kawasan Afrika, tercatat 68% kematian akibat TB terjadi pada individu dengan HIV. Penelitian menunjukkan bahwa kepatuhan terhadap regimen obat anti-TB dapat menurunkan angka kematian dari 50% menjadi 15%. Oleh sebab itu, terapi selama enam bulan sangat dianjurkan sesuai pedoman WHO.

Walaupun angka kematian dapat ditekan dengan pengobatan yang efektif, sejumlah besar penyintas TB masih mengalami kondisi pasca-TB, yang berpotensi menimbulkan kecacatan jangka panjang. Di beberapa negara, beban penyakit TB telah menurun hingga kurang dari 1 kematian per 100.000 penduduk dan kurang dari 10 kasus per tahun. Antara tahun 2015–2020, tercatat penurunan insidensi sebesar 11%, mendekati target WHO sebesar 20% dalam periode yang sama sesuai strategi End TB.

7.1.2 Etiologi

Tuberkulosis (TB) adalah penyakit menular yang disebabkan oleh bakteri yang paling sering menyerang paru-paru. TB disebabkan oleh basil *Mycobacterium tuberculosis*, yang menyebar ketika penderita TB mengeluarkan bakteri ke udara (misalnya dengan batuk, bersin). Bakteri tersebut pertama kali dideskripsikan oleh Robert Koch pada tanggal 24 Maret 1882. *Mycobacterium tuberculosis* berbentuk batang lurus atau agak bengkok dengan ukuran 0,2-0,4 x 1-4 μm . pewarnaan Ziehl-Neelsen dipergunakan untuk mengidentifikasi bakteri tersebut.

Bakteri tersebut mempunyai sifat istimewa, yaitu tahan terhadap pencucian warna dengan asam dan alcohol, sehingga sering disebut basil tahan asam (BTA). *Mycobacterium tuberculosis* mati pada pemanasan 100°C selama 5-10 menit sedangkan dengan alcohol 70-95% selama 15-30 detik. Bakteri tersebut tahan selama 1-2 jam di udara terutama di tempat lembab dan gelap (bisa berbulan-bulan), namun tidak tahan terhadap sinar matahari atau aliran udara (Masriadi, 2017).



Gambar 7.1: *Mycobacterium tuberculosis*

7.1.3 Cara Penularan

TB paru menular melalui udara (droplet nuclei) yang dilepaskan saat penderita batuk, bersin, atau berbicara. Droplet kecil ini dapat bertahan di udara selama beberapa jam, terutama di ruang tertutup dengan kelembapan tinggi dan minim cahaya. Jika terhirup, bakteri masuk ke paru-paru dan berkembang biak, sehingga menimbulkan infeksi (Masriadi, 2017).

Ventilasi dan paparan sinar matahari dapat membantu menurunkan risiko penularan karena dapat membunuh bakteri. Risiko infeksi meningkat seiring lamanya paparan dengan sumber infeksi, bukan karena faktor genetik. Kelompok dengan risiko tinggi meliputi anak di bawah 3 tahun, remaja, dewasa muda, serta lansia. Setelah masuk melalui saluran pernapasan, bakteri dapat menyebar ke organ lain melalui darah atau jaringan sekitarnya. (Masriadi, 2017).

7.1.4 Faktor Risiko

Beberapa orang dengan sistem kekebalan tubuh yang lemah (akibat pengobatan atau kondisi kesehatan tertentu) berisiko sangat tinggi terkena penyakit TB aktif setelah terinfeksi kuman TB. Sangat penting bagi mereka untuk menerima pengobatan TB nonaktif guna mencegah perkembangan penyakit TB aktif.

Beberapa obat atau kondisi kesehatan dapat melemahkan sistem kekebalan tubuh Anda. Ini termasuk: Infeksi HIV, Diabetes, Perawatan medis seperti kortikosteroid, Berat badan rendah

Bayi dan anak kecil seringkali memiliki sistem kekebalan tubuh yang lemah. Anak-anak, terutama yang berusia di bawah lima tahun, memiliki risiko lebih tinggi terkena penyakit TB setelah terinfeksi kuman TB.

7.1.5 Gejala

Mycobacterium tuberculosis dapat memasuki tubuh melalui saluran pernapasan, pencernaan, atau luka terbuka. Infeksi dapat menimbulkan kerusakan pada paru maupun organ lainnya. Gejala klinis yang sering muncul antara lain: batuk berdahak ≥ 2 minggu, sesak napas, badan lemas, penurunan berat badan, malaise, hingga hemoptisis (batuk darah). TB masih menjadi salah satu penyakit menular dengan distribusi luas di dunia dan menjadi tantangan kesehatan global. (Stephen et al., 2023).

7.1.6 Diagnosis

Diagnosis dini TB penting untuk memulai terapi secepat mungkin. Pemeriksaan laboratorium memegang peranan penting dalam meningkatkan akses layanan yang bermutu.

Di Indonesia, metode diagnosis yang digunakan sesuai rekomendasi WHO, antara lain:

1. Tes Cepat Molekuler (TCM/GeneXpert)
2. Pemeriksaan mikroskopis BTA
3. Kultur bakteri
4. Line Probe Assay (LPA)
5. Uji kepekaan fenotipik

Langkah ini merupakan implementasi dari Peraturan Presiden RI No. 67 Tahun 2021 tentang Penanggulangan Tuberkulosis

7.1.7 Surveilans dan pelaporan TB

1. Indonesia menggunakan SITB (Sistem Informasi Tuberkulosis) sebagai sistem pencatatan nasional.
2. Hasil Studi inventori menunjukkan adanya pelaporan yang belum optimal, terutama dari fasilitas swasta.
3. Kendala lain termasuk keterbatasan deteksi pada anak dan kasus TB di luar paru.

7.1.8 Strategi pengendalian TB

1. Program 3T (Temukan, Obati, Pantau).
2. Pemanfaatan teknologi diagnostik seperti GeneXpert.
3. Pengobatan kombinasi dengan pengawasan ketat (Directly Observed Treatment, DOT).
4. Pencegahan dengan vaksinasi BCG dan intervensi lingkungan

7.2 Epidemiologi Kusta

7.2.1 Pendahuluan

Penyakit kusta atau leprosi merupakan penyakit infeksi yang menyerang kulit dan saraf, disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium leprae* (*M. leprae*). Kusta, juga dikenal sebagai penyakit Hansen yang merupakan penyakit menular kronis. Gejala utama penyakit kusta yaitu berkurangnya rasa raba dan dapat menyebabkan kecacatan pada tahap lanjut, Berdasarkan World Health Organization (WHO), penyakit kusta dibagi menjadi tipe pausibasiler (PB) dan multibasiler (MB).

Tipe PB merupakan jenis penyakit kusta yang lebih ringan, ditandai oleh bercak putih atau kemerahan berjumlah 1 hingga 5 dan atau adanya 1 gangguan saraf, sedangkan tipe MB ditandai dengan jumlah bercak atau gangguan saraf lebih dari 5, bisa juga didapatkan benjolan, bercak meninggi, atau infiltrasi kulit. Terdapat 202.256 kasus kusta baru di 118 negara pada tahun 2019, sekitar 79% dari kasus kusta tersebut berasal dari negara India, Brazil, dan Indonesia.

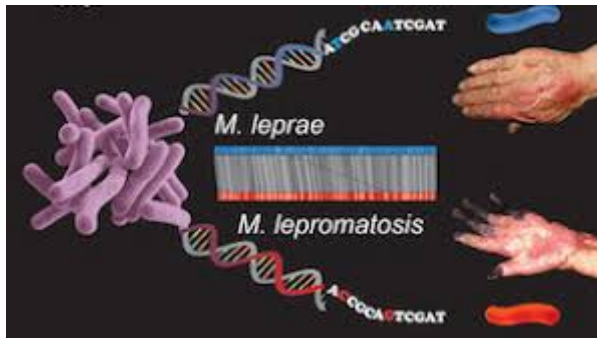
Penurunan jumlah kasus baru terjadi secara bertahap. Berdasarkan data tahun 2023, Brasil, India, dan Indonesia terus melaporkan lebih dari 10.000 kasus baru, sementara 12 negara lainnya (Bangladesh, Republik Demokratik Kongo, Etiopia, Madagaskar, Mozambik, Myanmar, Nepal, Nigeria, Filipina, Somalia, Sri Lanka, dan Republik Tanzania) masing-masing melaporkan 1.000–10.000 kasus baru. Lima puluh enam negara melaporkan 0 kasus dan 112 negara melaporkan kurang dari 1.000 kasus baru.

7.2.2 Etiologi

Kusta disebabkan oleh sejenis bakteri yaitu *Mycobacterium leprae*. *M. leprae* adalah basil gram positif tahan asam dari kompleks *Mycobacterium leprae*, yang terdiri dari *M. leprae* dan *M. lepromatosis*. *M. leprae* berkembang biak lebih lambat dibandingkan *M. leprae*, dengan perkiraan

waktu generasi 12 hingga 13 hari. Organisme intraseluler obligat ini tidak dapat dikultur dengan media buatan dan mengandung kurang dari setengah gen fungsional TB.

Uji laboratorium menunjukkan bahwa *M. leprae* tumbuh optimal pada suhu sekitar 27 hingga 33°C. Hal ini memperkuat teori awal tentang kecenderungan *M. leprae* untuk menyebar lebih efisien di area tubuh yang lebih dingin. Area ini meliputi kulit, saraf yang dekat dengan permukaan kulit, dan membran di saluran pernapasan atas.



Gambar 7.2: Mycobacterium leprae

7.2.3 Epidemiologi

Pada tahun 2000, Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) menetapkan kusta sebagai penyakit yang telah diberantas sepenuhnya. Pada akhirnya, eliminasi infeksi didefinisikan sebagai penurunan prevalensi secara keseluruhan hingga kurang dari 1 kasus per 10.000 orang. Dalam rentang waktu 1985 hingga 2011, kasus yang tercatat turun dari 5,4 juta menjadi sekitar 219.000. Pada tahun 2011, angka prevalensi per 10.000 orang turun dari sekitar 21,1 menjadi 0,37, tidak termasuk Eropa.

Sebagian besar kasus ditemukan di India, Indonesia, Brasil, Nigeria, dan Bangladesh. Data yang diperoleh untuk kusta menunjukkan bahwa tidak semua kasus dilaporkan.

Selain itu, jika dilihat berdasarkan spesifisitas gender, kusta lebih banyak ditemukan pada laki-laki dengan rasio sekitar 3 banding 2. Pada tahun

2009, kasus multibasiler terbukti mencapai 61 persen dari pasien baru, sementara secara global berkisar antara 33 hingga 94 persen.

7.2.4 Penularan

Penyakit ini diyakini menular melalui tetesan dari hidung dan mulut penderita kusta yang belum diobati, yang mengandung agen penyebab, setelah kontak dekat yang berkepanjangan. Penyakit ini tidak menyebar melalui kontak biasa (seperti berjabat tangan atau berpelukan, berbagi makanan, atau duduk bersebelahan). Pasien berhenti menularkan penyakit setelah pengobatan dimulai.

7.2.5 Diagnosa

Diagnosis kusta dilakukan secara klinis. Layanan laboratorium mungkin diperlukan pada kasus-kasus yang sulit didiagnosis. Penyakit ini umumnya bermanifestasi melalui lesi kulit dan keterlibatan saraf tepi.

Kusta didiagnosis dengan menemukan setidaknya satu dari tanda-tanda kardinal berikut:

1. Hilangnya sensasi yang nyata pada bercak kulit pucat (hipopigmentasi) atau kemerahan;
2. Penebalan atau pembesaran saraf tepi, disertai hilangnya sensasi dan/atau kelemahan otot-otot yang dipersarafi oleh saraf tersebut;
3. Deteksi mikroskopis basil pada apusan kulit.

Berdasarkan hal tersebut di atas, kasus kusta diklasifikasikan menjadi dua jenis untuk tujuan pengobatan, yaitu kasus pausibasiler (PB) dan kasus multibasiler (MB).

1. Kasus PB: kasus kusta dengan 1–5 lesi kulit, tanpa menunjukkan adanya basil pada apusan kulit.
2. Kasus MB: kasus kusta dengan lebih dari lima lesi kulit; atau dengan keterlibatan saraf (neuritis murni, atau sejumlah lesi kulit

dan neuritis); atau dengan ditemukannya basil dalam apusan kulit, tanpa memperhatikan jumlah lesi kulit.

7.2.6 Penatalaksanaan

Kusta adalah penyakit yang dapat disembuhkan. Regimen pengobatan yang saat ini direkomendasikan terdiri dari tiga obat (dapson, rifampisin, dan klofazimin) dan disebut sebagai terapi multiobat (MDT). Regimen yang sama dengan durasi 6 bulan untuk PB dan 12 bulan untuk kasus MB telah direkomendasikan oleh WHO. MDT membunuh patogen dan menyembuhkan pasien. Diagnosis dini dan pengobatan yang tepat dapat membantu mencegah kecacatan. WHO telah menyediakan MDT gratis. MDT gratis awalnya didanai oleh The Nippon Foundation (TNF) dan telah disumbangkan oleh Novartis sejak tahun 2000.

7.2.7 Pencegahan

Deteksi kasus dan pengobatan dengan MDT saja terbukti tidak cukup untuk menghentikan penularan. WHO merekomendasikan pelacakan kontak (kontak rumah tangga, lingkungan sekitar, dan sosial), disertai pemberian rifampisin dosis tunggal sebagai profilaksis pascapajanan (SDR-PEP).

Bab 8

Penyakit Zoonosis Tropis (Rabies, Leptospirosis)

8.1 Pendahuluan

Zoonosis adalah penyakit yang dapat menular dari hewan ke manusia, sedangkan zoonosis tropis merujuk pada jenis penyakit tersebut yang muncul di daerah beriklim tropis, seperti Indonesia. Patogen zoonosis dapat berupa bakteri, virus, parasit, atau melibatkan agen nonkonvensional dapat menyebar ke manusia melalui kontak langsung, makanan, air, atau lingkungan. Terdapat lebih dari 200 jenis zoonosis yang diketahui. Zoonosis merupakan penyumbang besar penyakit menular baru maupun lama, seperti HIV, Ebola, dan salmonellosis, bahkan dapat memicu pandemi global seperti COVID-19 (WHO, 2020).

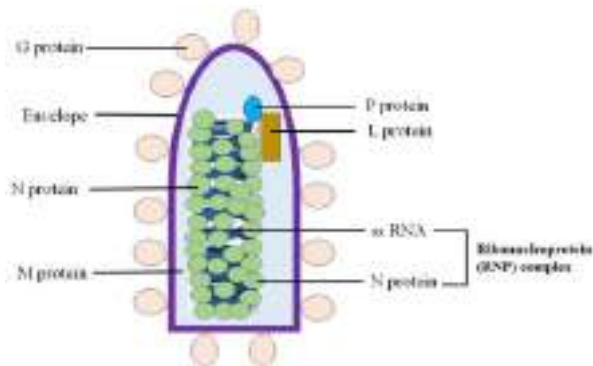
Penyakit zoonosis dibedakan berdasarkan reservoir, agen penyebab, dan cara penularannya. Contohnya, zoonosis bakteri seperti leptospirosis, serta zoonosis virus seperti rabies (Bedi et al., 2022). Infeksi zoonosis sangat

menular dan menjadi ancaman kesehatan serta ekonomi. Pencegahan, deteksi, dan pengobatan diperlukan untuk menghentikan penularannya. Penyakit prioritas di Indonesia antara lain rabies, flu burung, antraks, leptospirosis, dan pes (Kemenkes RI, 2024).

8.2 Rabies

8.2.1 Definisi dan Penyebab

Rabies merupakan penyakit zoonosis menular disebabkan oleh virus Rabies lyssavirus oleh virus dari golongan Rhabdovirus, famili Rhabdoviridae, dan ordo Mononegavirales (Kemenkes RI, 2024; Bintang et al., 2023). Virus ini berbentuk peluru dengan diameter 45-100 nm dan panjang 100-430 nm, memiliki nukleokapsid berbentuk silindris helikal diselubungi oleh amplop dan spikes glikoprotein, serta genom RNA negatif-sense ~12 kb yang menyandi lima protein struktur: N, P, M, G, dan L sesuai Gambar 8.1 (MacLachlan et al., 2011).



Gambar 8.1: Struktur Virus Rabies (MacLachlan et al., 2011)

Virus rabies memiliki sifat neurotropik, sehingga cenderung menyerang sel-sel neuron. Virus ini bersifat neuroinvasif, mampu menginfeksi jaringan saraf, dan menyebar sepanjang serabut saraf (Bintang et al., 2023). Rabies ditularkan oleh gigitan anjing, kelelawar, serigala, musang kucing, dan kera,

yang dapat menyebabkan sakit maupun kematian pada manusia dan hewan penularnya (Kemenkes RI, 2024).

8.2.2 Epidemiologi

Rabies menjadi masalah kesehatan masyarakat yang serius baik di dunia maupun Indonesia. Rabies diperkirakan menyebabkan 59.000 kematian manusia setiap tahunnya dengan 40% di antaranya adalah anak-anak di bawah usia 15 tahun di lebih dari 150 negara, dengan 95% kasus terjadi di Afrika dan Asia (WHO, 2024). Asia menyumbang 59,6% kematian, diikuti oleh Afrika (36,4%) dan Amerika (kurang dari 0,05%) (Ling et al., 2023). Di Kawasan Asia Tenggara, rabies endemik di sembilan negara yaitu Bangladesh, Bhutan, Korea Utara, India, india, Myanmar, Nepal, Sri Lanka, dan Thailand (WHO, 2025).

Rabies di Indonesia masih meluas, dengan 12 provinsi bebas rabies hingga 2023. Kasus dilaporkan melalui Gigitan Hewan Penular Rabies (GHPR), Vaksin Anti Rabies (VAR), dan kasus kematian (LYSSA), dengan tren meningkat pada 2023 yaitu GHPR 182.775 kasus, VAR 136.696, dan kematian 146 kasus sebagaimana disajikan pada Gambar 8.2 (Kemenkes RI, 2024).



Gambar 8.2: Situasi Rabies di Indonesia Tahun 2013-2023 (Kemenkes RI, 2024)

8.2.3 Patofisiologi

Virus rabies menyebar melalui sistem saraf setelah masuk melalui luka gigitan hewan terinfeksi, dengan air liur yang mengandung virus memasuki jaringan di bawah luka. Virus berikatan dengan reseptor pada neuromuscular junction, masuk ke sel saraf, dan bereplikasi di dorsal-root ganglia serta anterior-horn cells, membentuk Negri bodies sebagai tanda infeksi SSP.

Penyebaran virus dalam sistem saraf pusat berlangsung cepat melalui transport retrograde, menyerang sel-sel limbik, hipotalamus, batang otak, thalamus, basal ganglia, dan medula spinalis, menyebabkan produksi sitokin, gangguan hippocampus dan sistem limbik, hingga perubahan perilaku, memori, persepsi nyeri, dan kontrol siklus tidur-bangun. Virus juga dapat menyebar ke organ perifer seperti saluran pernapasan, kornea, kulit kepala dan leher, jaringan adiposa, adrenal medulla, dan ginjal (Fariyah et al., 2022).

8.2.4 Manifestasi Klinis

Masa inkubasi rabies biasanya 2–3 bulan, tetapi bisa berkisar antara satu minggu hingga satu tahun tergantung lokasi luka dan jumlah virus. Gejala awal berupa demam, nyeri, serta sensasi abnormal di area luka. Saat virus mencapai sistem saraf pusat, terjadi peradangan progresif pada otak dan sumsum tulang belakang. Rabies klinis sangat jarang disembuhkan dan sering meninggalkan defisit neurologis berat.

Terdapat dua tipe rabies dengan gejala klinis berbeda, yaitu:

1. Tipe rabies ganas (ensefalitis): mencakup sekitar 80% dari total kasus rabies pada manusia. Tipe ini mengakibatkan hiperaktivitas, perilaku mudah tersinggung, halusinasi, kurangnya koordinasi, hidrofobia (takut air) dan aerofobia (takut angin atau udara segar). Kematian terjadi setelah beberapa hari akibat henti jantung dan pernapasan.

2. Tipe rabies paralitik: mencakup sekitar 20% dari total kasus pada manusia. Tipe ini tidak separah ensefalitis dan biasanya berlangsung lebih lama. Otot-otot menjadi lumpuh dimulai dari lokasi luka secara bertahap. Terjadi kondisi koma hingga kematian (WHO, 2024).

8.2.5 Diagnosis

Beberapa teknik diagnostik yang dapat digunakan untuk mendiagnosis penyakit rabies yaitu:

1. Fluorescent Antibody Test (FAT), merupakan rekomendasi dari OIE dan WHO yang menjadi gold standard dalam identifikasi virus rabies karena sensitivitas dan spesifitas serta aplikasinya yang murah dan cepat
2. Immunoperoxidase
3. Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA) capture antigen
4. Rapid Immunodiagnostic Test (RIDT).

Teknik diagnostik molekular dapat dilakukan dengan teknik deteksi RNA virus menggunakan PCR-ELISA, reverse transcription PCR, real-time PCR, dan hybridisation in situ yang sensitif dan cepat (MacLachlan et al., 2011; WOA, 2023).

8.2.6 Pencegahan dan Pengobatan

Pengendalian vektor rabies merupakan upaya preventif yang paling efektif dalam rangka pencegahan penyakit tular vektor dan zoonotik, karena penularan penyakit ini tidak akan terjadi apabila tidak ada vektor penyakit (Kemenkes RI, 2024). Pencegahan rabies dapat dilakukan dengan vaksinasi vektor rabies dan vaksinasi manusia. Vaksinasi vektor (anjing) melalui program vaksinasi massal menjadi strategi yang paling hemat biaya untuk mencegah rabies pada manusia karena menghentikan penularan dari sumbernya.

Vaksinasi manusia dilakukan secara profilaksis prapajanan (PrEP) untuk yang berisiko tinggi terhadap infeksi rabies dan profilaksis pascapajanan (PEP) sebagai respons darurat terhadap pajanan rabies. Hanya ada 3 vaksin rabies manusia pra-kualifikasi WHO yang tersedia secara global, yaitu RABIVAX-S oleh Serum Institute of India Pvt. Ltd., VaxiRab N oleh Zydus Lifesciences Limited, dan VERORAB oleh Sanofi Pasteur. Setelah gejala muncul, pengobatan hanya suportif untuk mengendalikan gejala, sedangkan kesembuhan sangat jarang. (WHO, 2024).

8.3 Leptospirosis

8.3.1 Definisi dan Penyebab

Leptospirosis adalah penyakit zoonosis menular yang disebabkan oleh infeksi bakteri *Leptospira* sp., genus *Leptospira*, ordo Spirochaetes, dan famili Leptospiraceae. *Leptospira* memiliki diameter 0,1 μm dan panjang 6–20 μm , serta sel-sel fleksibel berbentuk spiral dengan ujung-ujung bengkok yang khas dan dua flagela internal yang memungkinkan motilitas untuk memfasilitasi migrasi melintasi penghalang jaringan. Dinding selnya mengandung lipopolisakarida (LPS) yang serupa dengan bakteri Gram-negatif lainnya.

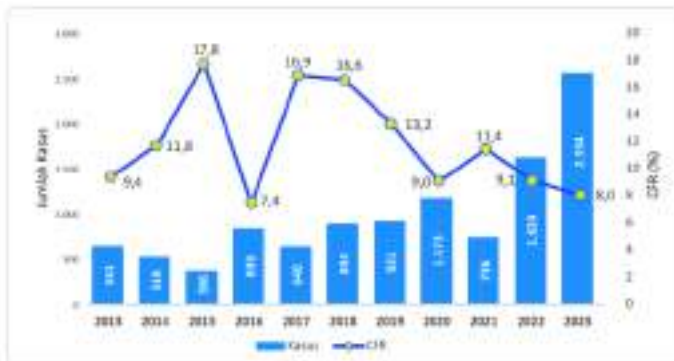
Variasi struktural LPS dapat berkontribusi pada identifikasi lebih dari 200 serovar dalam *Leptospira*, meskipun heritabilitas leptospirosis masih belum jelas (Verma, et al., 2020). *Leptospira* bersifat patogen bagi manusia dan hewan, dengan lebih dari 200 varian serologis atau serovar. Manusia biasanya tertular leptospirosis melalui kontak langsung dengan urin hewan yang terinfeksi atau lingkungan yang terkontaminasi urin. Penularan dari manusia ke manusia sangat jarang terjadi (PAHO, 2025).

8.3.2 Epidemiologi

Leptospirosis terjadi di seluruh dunia tetapi endemik terutama di negara-negara dengan iklim subtropis dan tropis yang lembab. Diperkirakan

terdapat lebih dari 500.000 kasus leptospirosis setiap tahun di seluruh dunia (PAHO, 2025). Studi lain memperkirakan bahwa sekitar 853.000 kasus simptomatik terjadi setiap tahun di seluruh dunia (Taylor, 2015). Pada tahun 2023, tercatat sebanyak 2.554 kasus leptospirosis di Indonesia yang berasal dari laporan dua belas provinsi, yaitu DKI Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, DI Yogyakarta, Jawa Timur, Banten, Kalimantan Utara, Sulawesi Selatan, Kalimantan Timur, Kepulauan Riau, Bali, dan Maluku.

Dari total kasus tersebut, sebanyak 205 kasus diantaranya meninggal dunia dengan angka kematian (Case Fatality Rate/CFR) mencapai 8%. Pada tahun 2023, jumlah kasus leptospirosis tercatat meningkat dibandingkan tahun 2022, yaitu dari 1.624 kasus menjadi 2.554 kasus (Gambar 8.3).



Gambar 8.3: Situasi Leptospirosis di Indonesia Tahun 2013–2023 (Kemenkes RI, 2024)

Kasus leptospirosis melonjak di Jawa dan Kalimantan, terutama Jawa Tengah dan Jawa Timur yang menyumbang 36,6% dan 42,7% kasus nasional. Sementara itu, CFR menurun dari 9,1% menjadi 8% berkat deteksi dini dan penanganan lebih cepat. Beberapa provinsi melaporkan kenaikan kasus, sedangkan Jakarta, Jawa Barat, dan Banten mengalami penurunan. Menariknya, Kepulauan Riau, Bali, dan Maluku yang sebelumnya nol kasus, kini melaporkan adanya kasus (Kemenkes RI, 2024).

8.3.3 Patofisiologi

Leptospirosis terjadi ketika bakteri *Leptospira* masuk melalui kulit yang lecet atau mukosa, kemudian menyebar ke aliran darah dan berkembang dua tahap utama, yaitu fase leptospiremik (septikemia) dan fase leptospirurik (imun). Pada fase leptospiremik, *Leptospira* masuk ke tubuh melalui kulit yang terluka atau mukosa, lalu menyebar melalui aliran darah ke organ target seperti hati, ginjal, paru, dan sistem saraf pusat. Pada tahap ini, bakteri menyebabkan bakteremia sistemik, menimbulkan gejala awal berupa demam, mialgia, dan malaise.

Faktor virulensi seperti glycolipoprotein (GLP) dan protein membran luar berperan penting dalam invasi jaringan serta menginduksi aktivasi Toll-like Receptor (TLR) dan jalur Nuclear Factor kappa-light-chain-enhancer of activated B cells (NF- κ B), yang kemudian memicu inflamasi dan kerusakan seluler melalui disfungsi Na/K-ATPase (Chaurasia et al., 2023). Seiring terbentuknya antibodi, infeksi berlanjut ke fase leptospirurik, ditandai dengan eliminasi bakteri dari darah namun kolonisasi persisten pada ginjal dengan ekskresi melalui urine.

Pada fase ini, respon imun berlebihan memicu cytokine storm dan kerusakan multi-organ, terutama acute kidney injury (AKI) non-oligurik dengan hipokalemia, serta risiko perkembangan penyakit ginjal kronik (Sethi et al., 2025). Selain itu, komplikasi pulmonal berat seperti perdarahan alveolar dan Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) sering terjadi pada fase leptospirurik akibat peningkatan permeabilitas vaskular dan inflamasi sistemik, yang berkorelasi dengan tingginya angka mortalitas (Priyankara et al., 2024).

8.3.4 Manifestasi Klinis

Masa inkubasi leptospirosis 2–30 hari dengan gejala seperti demam, nyeri otot, mual, diare, batuk, penyakit kuning, dan sufusi konjungtiva. Tanpa pengobatan, dapat terjadi gagal ginjal, hati, napas, meningitis, hingga kematian. Gejalanya sering mirip penyakit lain, menyebabkan salah

diagnosis. Sebagian besar kasus ringan, namun sebagian kecil bisa berat, seperti leptospirosis ikterik, perdarahan paru, atau meningitis aseptik.

Leptospirosis ikterik (penyakit Weil) merupakan bentuk berat leptospirosis yang ditandai ikterus, gagal ginjal sebagai komplikasi utama, serta mortalitas 15–40%, dengan gejala meliputi gangguan hati, perdarahan, dan komplikasi paru serta jantung, sementara kasus ringan biasanya pulih pada minggu kedua. Salah satu komplikasi seriusnya adalah pneumonitis hemoragik, ditandai perdarahan paru yang bisa muncul 24–48 jam setelah gejala awal atau pada minggu kedua, dimulai dengan demam tinggi, sakit kepala, nyeri badan, batuk kering yang kemudian berdarah, disertai sesak napas, takikardia, takipnea, dan gejala toksik; hemoptisis masif dapat menimbulkan asfiksia dengan mortalitas 50–70%, sedangkan foto toraks menunjukkan opasitas alveolar bilateral yang biasanya sembuh dalam seminggu tanpa kerusakan permanen.

Selain itu, meningitis aseptik leptospiral dapat muncul dengan gejala demam, sakit kepala, fotofobia, muntah, dan kaku kuduk; analisis cairan serebrospinal menunjukkan pleositosis limfositik, peningkatan protein, dan glukosa normal, dengan kejang atau ensefalitis jarang terjadi, prognosis umumnya baik, dan kematian sangat jarang, sementara gejala khas leptospirosis seperti mialgia, sufusi konjungtiva, dan perdarahan juga dapat ditemukan (CDC, 2024; Singh, 2007).

8.3.5 Diagnosis

Diagnosis leptospirosis dapat dilakukan melalui tiga pendekatan utama, yaitu pemeriksaan laboratorium umum, metode diagnostik tidak langsung, dan metode langsung sebagai berikut (Verma et al., 2020).

1. Pemeriksaan Laboratorium Umum

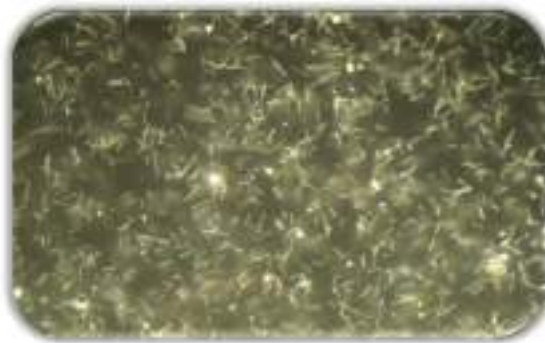
Pemeriksaan awal leptospirosis bersifat nonspesifik melalui analisis darah, urin, dan CSF, dengan temuan seperti leukositosis, trombositopenia, peningkatan fungsi ginjal dan hati, serta proteinuria dan kelainan CSF. Namun, diagnosis pasti memerlukan

tes mikrobiologi atau serologi, sementara isolasi bakteri dari jaringan sulit dilakukan meskipun dapat menunjukkan tingkat keparahan (Budihal, 2014).

2. Metode Diagnostik Langsung

a. Mikroskopi

Mikroskopi (fase kontras medan gelap) dapat mendeteksi leptospira dalam darah, urin, atau LCS berdasarkan morfologi dan pergerakannya yang khas (Gambar 9.4). Namun, metode ini memiliki keterbatasan karena membutuhkan jumlah bakteri tinggi, sensitivitas menurun setelah satu minggu infeksi, serta risiko hasil positif dan negatif palsu (Verma et al., 2020).



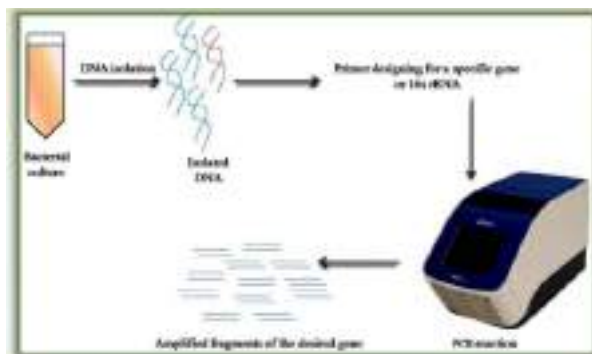
Gambar 8.4: Sel *Leptospira* (Verma et al, 2020)

b. Kultur

Kultur leptospira dilakukan sesuai jenis sampel dan tahap penyakit: darah dikultur dalam 10 hari pertama, cairan serebrospinal pada minggu awal sakit, dan urin pada fase leptospiruria. Sampel harus segera diproses, lalu ditanam pada media khusus, diinkubasi 30°C, dan dipantau 4–6 bulan (Verma et al, 2020).

c. Metode Molekuler

Metode molekuler seperti PCR (Gambar 9.5) dan variannya (nested PCR, PCR/RFLP target gen 16S rRNA) memungkinkan identifikasi cepat *Leptospira* dari sampel cairan tubuh atau kultur, bahkan pada jumlah sangat rendah (hingga 10 organisme). Pada studi 103 pasien meningitis yang tidak terdiagnosis, PCR berhasil mendeteksi 39,08% kasus, jauh lebih tinggi dibanding ELISA (3,88%) dan MAT (8,74%), dan sensitivitas meningkat bila PCR dikombinasikan dengan ELISA (Croda et al., 2007).



Gambar 8.5: Representasi Skematis PCR (Croda et al., 2007)

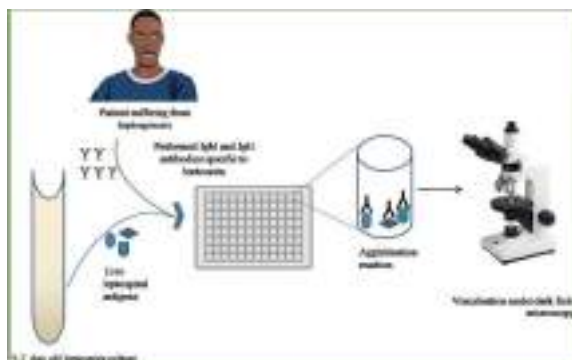
3. Metode Tidak Langsung

Metode serologi sering digunakan dalam diagnosis leptospirosis, terutama efektif setelah enam hari munculnya gejala. Teknik yang sering digunakan antara lain Uji Aglutinasi Mikroskopis (MAT), ELISA, dan Lepto Dipstick sebagai berikut.

a. Uji Aglutinasi Mikroskopis (MAT)

MAT dapat mengevaluasi antibodi terhadap *Leptospira* dalam serum pasien dengan mengamati aglutinasi antara antigen leptospira hidup dan antibodi serum di bawah mikroskop

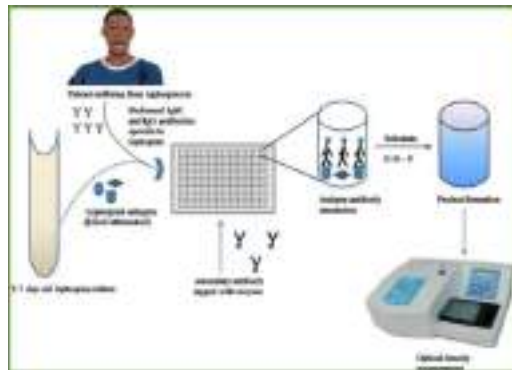
medan gelap (Gambar 9.6). MAT menggunakan kultur leptospira 7–12 hari yang dicampur dengan serum pasien untuk menilai respons imun. Metode ini merupakan standar emas diagnosis leptospirosis karena sensitif, tetapi kurang efektif pada tahap awal, berisiko negatif palsu, dan dipengaruhi riwayat infeksi. Keterbatasan tersebut menegaskan perlunya metode diagnostik yang lebih cepat dan praktis (Verma et al, 2020).



Gambar 8.6: Representasi Skematis MAT (Verma et al, 2020).

b. Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA)

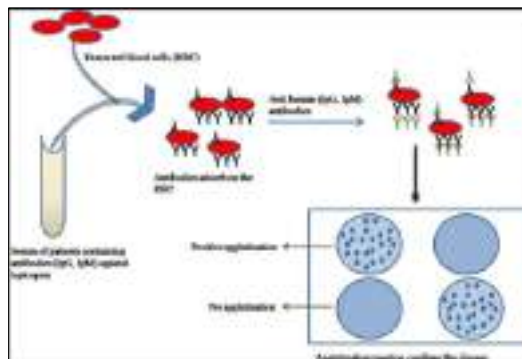
ELISA mendeteksi antibodi IgM terhadap *Leptospira* dan tidak memerlukan antigen hidup (Gambar 8.7), berbeda dengan MAT yang menjadi uji referensi. Namun, ELISA pada sampel serum tunggal tidak cukup untuk diagnosis, karena deteksi antibodi IgM membutuhkan waktu, dapat bertahan lama dalam serum, dan berisiko positif atau negatif palsu. Untuk meningkatkan spesifisitas, varian ELISA in-house menggunakan *Leptospira fainei* yang diolah dengan formalin atau direbus sebagai antigen untuk mendeteksi antibodi IgM spesifik secara lebih akurat (Verma et al, 2020).



Gambar 8.7: Representasi Skematis ELISA (Verma et al, 2020)

c. Indirect Haemagglutination Assay (IHA)

IHA mendeteksi interaksi antigen-antibodi spesifik *Leptospira* dalam serum pasien melalui aglutinasi pasif eritrosit yang dilapisi antigen (Gambar 9.8). IHA cepat, mudah, dan tidak memerlukan antigen hidup, namun sensitivitas dan spesifisitasnya lebih rendah dibanding MAT. Selain itu, IHA memerlukan antibodi dalam serum yang cukup, biasanya berkembang dalam delapan hari, sehingga kurang efektif untuk diagnosis pada tahap awal infeksi (Lizer et al., 2017).



Gambar 8.8: Representasi Skematis IHA (Verma et al, 2020)

8.3.6 Pencegahan dan Pengobatan

WHO menekankan pendekatan One Health untuk pencegahan leptospirosis, yang mengintegrasikan kesehatan manusia, hewan, dan lingkungan. Di Indonesia, pendekatan ini diterapkan di Kabupaten Demak melalui koordinasi lintas sektor, peningkatan kesadaran masyarakat, pengelolaan lingkungan, dan pembentukan tim koordinasi zoonosis untuk memperkuat pengawasan dan deteksi kasus.

Pengobatan leptospirosis utama adalah antibiotik, yang diberikan segera setelah diagnosis dicurigai, idealnya sebelum hari kelima gejala muncul, dengan pilihan doxycycline, amoxicillin, penicillin G, atau ceftriaxone sesuai tingkat keparahan; pasien ringan hingga sedang dapat dirawat jalan, sementara pasien berat memerlukan perawatan intensif di rumah sakit (WHO, 2024).

Bab 9

Pemanfaatan GIS dan Teknologi untuk Mapping Penyakit

9.1 Pendahuluan

Indonesia sebagai negara kepulauan tropis terbesar di dunia, menghadapi beban epidemiologi yang signifikan dari penyakit menular yang terabaikan (Neglected Tropical Diseases) dan penyakit tropis lainnya seperti malaria dan demam berdarah dengue (DBD). Karakteristik geografis yang terdiri dari ribuan pulau dengan variasi ekosistem, iklim, dan demografi menjadikan pemahaman mengenai dinamika spasial penyakit menjadi sangat penting. Metode konvensional hanya berfokus pada data agregat seringkali gagal mendeteksi kerumitan penyebaran penyakit di level daerah. Oleh karena itu, penerapan teknologi yang mampu mengintegrasikan, menganalisis, dan memvisualisasikan data berbasis spasial menjadi sebuah keharusan.

Konsep pemetaan dalam epidemiologi bukanlah hal baru, jauh sebelum era komputer. Salah satu contoh paling terkenal adalah Dr. John Snow yang berhasil melacak sumber wabah kolera di London pada tahun 1854 (Rothman, 2012; Sipe & Dale, 2003). John Snow memetakan setiap kasus kolera dan menemukan sebuah kluster kasus di sekitar pompa air di Broad Street.

Dengan tindakan intervensi sederhana yaitu mencopot gagang pompa air tersebut, ia berhasil mengakhiri wabah dan membuktikan bahwa air yang terkontaminasi adalah agen penyebab. Karya Snow menjadi fundamental yang membuktikan bahwa geografi adalah elemen kunci dalam penyelidikan epidemiologi. Sejak saat itu, ilmu ini telah berkembang pesat seiring dengan kemajuan teknologi, bertransformasi dari pemetaan manual menjadi sebuah sistem berbasis komputer yang komprehensif, yaitu Sistem Informasi Geografis (SIG) (Musa et al., 2013).

Bab ini akan mengulas secara mendalam bagaimana SIG dan teknologi pendukungnya, seperti penginderaan jauh (remote sensing) dan aplikasi seluler, telah merevolusi cara para ahli epidemiologi di Indonesia memetakan dan mengendalikan penyakit tropis (Saputra et al., 2024). Pembahasan akan mencakup prinsip-prinsip dasar dan metodologi yang digunakan, dilanjutkan dengan contoh nyata penerapannya, tantangan implementasi, serta peluang dan rekomendasi di masa depan untuk mengoptimalkan pemanfaatan teknologi ini. Tujuannya adalah untuk menunjukkan bagaimana integrasi data spasial ke dalam surveilans penyakit dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas intervensi kesehatan masyarakat secara signifikan.

9.2 Prinsip Dasar dan Metodologi SIG dalam Epidemiologi

Pemanfaatan SIG dalam epidemiologi adalah sebuah pendekatan multidisiplin yang memadukan ilmu geografi, kesehatan masyarakat, dan

informatika. Pendekatan ini bertujuan untuk memahami bagaimana masalah kesehatan memengaruhi populasi dan tren penyebarannya (Sipe & Dale, 2003).

9.2.1 Definisi, Fungsi, dan Manfaat SIG

Sistem Informasi Geografis (SIG) pada dasarnya adalah sebuah peta digital yang cerdas. Sistem ini khusus dirancang untuk mengolah data yang memiliki informasi lokasi (contohnya: alamat, koordinat, atau wilayah) (Kraak & Ormeling, 2010).

ESRI (Environmental System Research Institute, 1996) mendefinisikan SIG adalah kumpulan yang teroganisir dari perangkat keras komputer, perangkat lunak, data geografis dan personil yang dirancang secara efisien untuk memperoleh, menyimpan, mengupdate, memanipulasi, menganalisis, dan menampilkan semua bentuk informasi yang bereferensi geografis.

SIG adalah sebuah sistem komputer yang dirancang untuk mengumpulkan, menyimpan, menganalisis, dan menampilkan data yang terkait dengan lokasi di permukaan bumi, teknologi ini berfungsi untuk mengintegrasikan data lokasi (di mana suatu objek berada) dengan berbagai jenis informasi deskriptif atau data atribut (bagaimana karakteristik objek tersebut) (Maria, 2023; Musa et al., 2013; Saputra et al., 2024; Sipe & Dale, 2003).

Integrasi ini memberikan landasan bagi pemetaan dan analisis yang mendalam, membantu pengguna memahami pola, hubungan, dan konteks geografis (Environmental System Research Institute, 1996) Dalam bidang epidemiologi, SIG berfungsi sebagai alat penting untuk mengatasi pertanyaan terkait distribusi dan determinan kesehatan dalam ruang dan waktu.

Fungsi utamanya mencakup:

1. Visualisasi dan Eksplorasi Data: menampilkan data penyakit secara visual dalam bentuk peta untuk melihat sebaran dan pola (Nugroho et al., 2022; Saputra et al., 2024).

2. Analisis Spasial: Menambahkan komponen spasial dalam tampilan tabel atau grafik (Nugroho et al., 2022).
3. Manajemen Data: Mengelola data spasial dan atribut, memungkinkannya disimpan, diakses, dan diintegrasikan secara terstruktur (Environmental System Research Institute, 1996; Nugroho et al., 2022).
4. Berbagi Data dan Kolaborasi: Memfasilitasi komunikasi dan pertukaran data yang kompleks (Environmental System Research Institute, 1996).

Pemanfaatan SIG dalam pemetaan penyakit memberikan sejumlah manfaat signifikan. Secara umum, SIG meningkatkan komunikasi, efisiensi, manajemen, dan pengambilan keputusan (Environmental System Research Institute, 1996). SIG mendukung pengambilan keputusan berbasis bukti dengan memungkinkan para ahli epidemiologi mengidentifikasi area berisiko tinggi penularan penyakit, memprioritaskan alokasi sumber daya, dan menilai dampak intervensi.

Data dalam SIG terbagi menjadi dua kategori utama: data spasial dan data atribut. Data spasial mendeskripsikan lokasi fisik sebuah objek (misalnya, koordinat rumah pasien), sedangkan data atribut adalah informasi non-spasial yang terkait dengan objek tersebut (misalnya, usia pasien, jenis kelamin, atau diagnosis penyakit).

Salah satu proses fundamental dalam mengintegrasikan data epidemiologi ke dalam SIG adalah geocoding. Proses ini mengubah informasi lokasi yang tidak memiliki koordinat, seperti alamat rumah pasien, menjadi titik-titik dengan koordinat geografis yang tepat yang dapat ditampilkan pada peta (Foster, Adams, et al., 2024).

Akurasi geocoding sangat penting, dan di daerah terpencil atau lokasi dengan alamat yang tidak standar, penggunaan perangkat GPS (Global Positioning System) yang dapat dipegang tangan sering kali menjadi

alternatif yang lebih akurat untuk mengumpulkan data koordinat secara langsung (Foster, Adams, et al., 2024; Nuraisyah et al., 2022).

9.2.2 Analisis Spasial Data Epidemiologi

Setelah data epidemiologi diproses dan diubah menjadi format spasial, berbagai metode analisis dapat diterapkan untuk menghasilkan wawasan yang lebih dalam tentang pola penyakit (Environmental System Research Institute, 1996; Foster, Adams, et al., 2024).

1. Visualisasi data dan pemetaan. Pemetaan adalah aplikasi SIG yang paling dasar namun sangat kuat. Teknik pemetaan meliputi:
 - a. Pemetaan Titik (Point Mapping): Setiap kasus penyakit ditampilkan sebagai satu titik pada peta, memberikan gambaran visual langsung mengenai konsentrasi dan sebaran kasus.
 - b. Peta Kloropleth (Choropleth Mapping): Menggunakan warna atau pola untuk menunjukkan tingkat intensitas penyakit (misalnya, jumlah kasus atau tingkat insiden) yang dikelompokkan berdasarkan batas wilayah administratif seperti kecamatan atau kabupaten. Peta jenis ini sangat berguna untuk mengidentifikasi area dengan beban penyakit yang tinggi secara cepat.
2. Analisis Kluster (Cluster Analysis). Analisis kluster adalah salah satu fungsi analitis SIG yang paling penting dan transformatif dalam epidemiologi. Metode ini menggunakan algoritma statistik untuk menentukan apakah kasus-kasus penyakit berkumpul di lokasi tertentu secara signifikan, bukan secara acak (Foster, Adams, et al., 2024; Musa et al., 2013). Identifikasi kluster dapat membantu para ahli epidemiologi untuk menghasilkan hipotesis tentang faktor risiko yang mungkin terkait dengan area tersebut,

seperti sumber paparan lingkungan atau karakteristik demografi yang unik (Foster, Adams, et al., 2024).

3. Analisis Spatio-Temporal. Berbeda dari pemetaan statis, analisis spatio-temporal memungkinkan para ahli epidemiologi untuk memvisualisasikan dan menganalisis dinamika penyakit seiring waktu. Dengan menggabungkan data spasial dan waktu, dimungkinkan untuk melihat bagaimana pola penyebaran penyakit berubah, yang sangat penting untuk memahami epidemiologi penyakit menular yang dinamis. Analisis ini dapat memvisualisasikan perubahan dalam progresivitas penyakit, perubahan konsentrasi, atau distribusi faktor risiko (Foster, Adams, et al., 2024).

Pemanfaatan SIG dalam epidemiologi memungkinkan pergeseran fundamental dari pendekatan deskriptif ke analitik. Pemetaan klasik seperti karya John Snow, meskipun revolusioner, pada dasarnya adalah pendekatan deskriptif. Penggambaran titik-titik pada peta memberikan gambaran visual mengenai "di mana" wabah terjadi, tetapi hubungan sebab-akibat harus ditemukan secara manual dan diuji secara terpisah. SIG modern modern mampu mengotomatisasi seluruh proses ini.

Seorang ahli epidemiologi dapat dengan cepat mengidentifikasi kluster kasus (jawaban atas "di mana") dan kemudian menggunakan alat analitis untuk secara statistik menguji hubungannya dengan faktor lingkungan atau demografi (jawaban atas "mengapa"). Proses ini mempercepat pembentukan dan pengujian hipotesis, mengubah "di mana" menjadi "mengapa" dengan jauh lebih efisien dan berbasis bukti (Musa et al., 2013). Beberapa visualisasi jenis analisis spasial pada Gambar 9.1-9.5.

Tabel 9.1: Ringkasan jenis analisis spasial yang relevan dalam epidemiologi
(Sumber: (Foster, Adams, et al., 2024))

Jenis Analisis	Deskripsi dan Tujuan Utama	Contoh Aplikasi pada Penyakit Tropis
Pemetaan Titik (<i>Point Mapping</i>)	Menampilkan lokasi setiap kasus penyakit sebagai titik tunggal pada peta untuk visualisasi langsung sebaran kasus dan identifikasi pola dasar	Memetakan lokasi rumah setiap pasien demam berdarah di sebuah kelurahan
Peta Kloroplek (<i>Choropleth Mapping</i>)	Menggunakan gradasi warna untuk memvisualisasikan data agregat (misalnya, tingkat insiden) yang dikelompokkan berdasarkan batas wilayah administratif seperti kecamatan atau kabupaten. Berguna untuk mengidentifikasi area dengan beban penyakit tertinggi	Menampilkan peta tingkat prevalensi malaria per kabupaten di suatu provinsi
Analisis Kluster (<i>Cluster Analysis</i>)	Mengidentifikasi area dengan konsentrasi kasus penyakit yang signifikan secara statistik, melebihi yang diharapkan secara acak	Mengidentifikasi kluster kasus leptospirosis di wilayah yang mengalami banjir
Analisis Spatio-Temporal (<i>Spatiotemporal Analysis</i>)	Menggambarkan dan menganalisis perubahan pola penyakit seiring waktu, memvisualisasikan penyebaran atau perubahan konsentrasi penyakit	Membuat animasi peta yang menunjukkan pergerakan wabah flu burung dari satu kabupaten ke kabupaten lain selama beberapa bulan
Analisis Faktor Risiko Lingkungan	Mengkorelasi sebaran kasus dengan data lingkungan, seperti tutupan lahan, curah	Mengidentifikasi area-area dengan kasus DBD yang tinggi dan menganalisis korelasinya dengan kepadatan

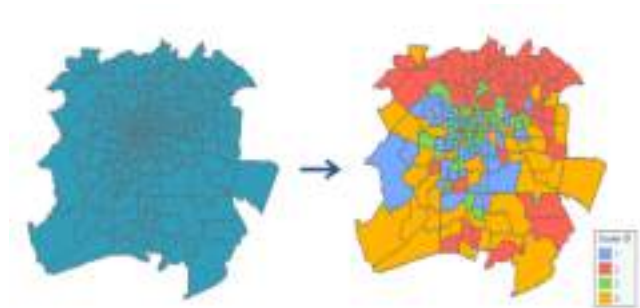
	hujan, atau lokasi badan air, untuk mengidentifikasi prediktor penyakit	populasi dan status sanitasi
--	---	------------------------------



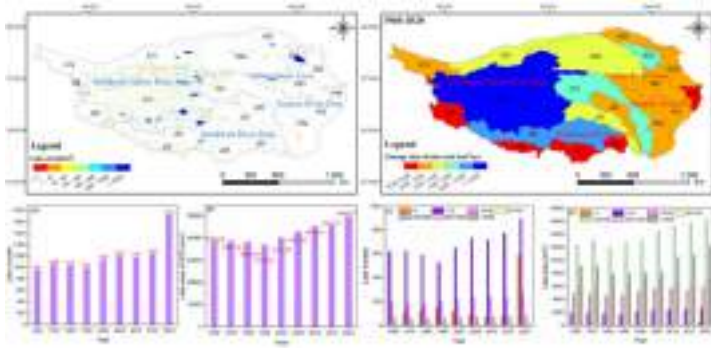
Gambar 9.1: Contoh Pemetaan Titik (Point Mapping) (ESRI, 2016)



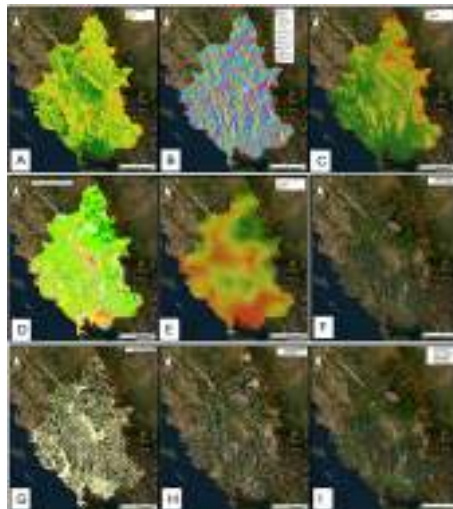
Gambar 9.2: Contoh Peta Kloroplek (Choropleth Mapping) (ESRI, 2025)



Gambar 9.3: Contoh Analisis Kluster (Cluster Analysis) (ESRI, 2022)



Gambar 9.4: Contoh Pemetaan Analisis Spatio-Temporal (Spatiotemporal Analysis) (Cao et al., 2025)



Gambar 9.5: Contoh Analisis Pemetaan Faktor Risiko Lingkungan (Pallikarakis et al., 2024)

9.2.3 Perangkat Lunak GIS dan Fungsinya

Penerapan SIG dalam epidemiologi didukung oleh berbagai perangkat lunak, yang memiliki fungsi dan keunggulan masing-masing.

Beberapa software yang banyak digunakan di bidang epidemiologi:

1. Tableau. Meskipun utamanya dikenal sebagai platform visualisasi data dan analitik bisnis, Tableau juga mampu menangani data spasial dengan antarmuka yang ramah pengguna dan fitur drag-and-drop, Tableau memungkinkan para ahli epidemiologi untuk dengan cepat membuat visualisasi interaktif dan dasbor yang memetakan data kesehatan berdasarkan geografi, demografi, usia, dan faktor lainnya. Meskipun masih tertinggal dibandingkan perangkat lunak GIS khusus dalam analisis spasial yang kompleks seperti geoprocessing, Tableau unggul dalam menyatukan data yang berbeda dari berbagai sumber dan menggunakannya untuk analisis prediktif, yang membantu optimasi penggunaan sumber daya (Sigdel, 2022; Tableau, 2025).
2. GeoDa adalah perangkat lunak sumber terbuka (gratis) yang dikembangkan khusus untuk analisis data spasial (Anselin et al., 2022). Kekuatan utamanya adalah kemampuannya untuk melakukan tes statistik spasial yang canggih untuk mengidentifikasi kluster yang signifikan secara statistik, yang sering disebut sebagai hot spots (konsentrasi kasus) dan cold spots (area dengan kasus rendah) (Duncombe et al., 2012). GeoDa memungkinkan eksplorasi data secara real-time dan interaktif, yang sangat membantu dalam menerjemahkan data menjadi wawasan yang berguna. GeoDa sangat ideal untuk analisis data di tingkat lokasi spesifik seperti alamat, atau data yang dikelompokkan berdasarkan area administrative (Anselin et al., 2022).
3. ArcGIS dikembangkan oleh Esri, dianggap sebagai salah satu perangkat lunak GIS paling kuat dan komprehensif di pasaran. ArcGIS menyediakan alat analisis geospasial yang canggih yang

dapat melakukan hampir semua hal terkait geografi, termasuk analisis kluster, pemodelan jaringan, dan analisis buffer. Infrastruktur GIS WHO sendiri dibangun di atas ArcGIS Enterprise, dan WHO menyediakan hibah lisensi gratis untuk negara-negara berpendapatan rendah dan menengah, termasuk Indonesia (WHO, 2025). Namun, ArcGIS dikenal mahal dan membutuhkan banyak daya komputasi, yang dapat menjadi tantangan bagi lembaga dengan sumber daya terbatas (Sigdel, 2022).

4. QGIS sebagai alternatif sumber terbuka dari ArcGIS, Quantum GIS (QGIS) adalah perangkat lunak gratis yang menyediakan sebagian besar fungsionalitas ArcGIS. QGIS adalah pilihan yang ideal bagi organisasi dengan anggaran terbatas atau di negara berkembang, karena tidak ada biaya lisensi dan dapat diunduh langsung dari internet. WHO juga menyediakan akses ke QGIS untuk negara-negara dan mitranya, menjadikannya alat yang sangat penting untuk membangun kapasitas GIS di daerah dengan sumber daya terbatas (Duncombe et al., 2012; WHO, 2025).

9.3 Contoh Implementasi GIS dalam Pengendalian Penyakit Tropis

Implementasi GIS telah terbukti secara empiris meningkatkan efektivitas surveilans dan respons wabah penyakit tropis. Beberapa studi menyajikan bagaimana pemodelan spasial berbasis GIS yang menggabungkan data cuaca dan vegetasi berhasil memprediksi risiko penularan malaria di daerah endemik, memungkinkan intervensi pencegahan proaktif seperti distribusi

kelambu berinsektisida sebelum puncak musim penularan (Prakash Nayak et al., 2025).

Demikian pula, Centers for Disease Control and Prevention (CDC) menggunakan teknologi GIS untuk melacak dan menganalisis wabah penyakit seperti demam berdarah dengue dan Zika, memvisualisasikan rantai penularan, dan mengoordinasikan respons lapangan yang cepat. Pendekatan ini tidak hanya memperkuat sistem peringatan dini tetapi juga membuka jalan bagi pendekatan precision public health, di mana intervensi dapat disesuaikan dengan kondisi spesifik setiap lokasi geografis untuk memaksimalkan dampak dan mempercepat eliminasi penyakit tropis. Indonesia dapat belajar dari studi kasus internasional untuk memperkuat kerangka kerja epidemiologi spasialnya, terutama dalam hal analisis prediktif dan integrasi data lingkungan yang lebih kompleks.

9.3.1 Pengendalian Dengue Berdasarkan Studi dari Asia Tenggara

Banyak penelitian mengenai penerapan SIG untuk pengendalian dengue terkonsentrasi di Asia Selatan dan Tenggara, termasuk India, Thailand, dan Indonesia, yang mencerminkan beban penyakit yang tinggi di wilayah tersebut. Studi-studi ini menyoroti penggunaan teknologi canggih seperti penginderaan jauh untuk memantau perubahan lingkungan yang mendahului wabah.

Citra satelit dari satelit seperti Landsat dan Sentinel digunakan untuk menganalisis kepadatan vegetasi (NDVI) dan suhu permukaan tanah (LST). Peningkatan vegetasi dan suhu optimal berkorelasi kuat dengan lokasi perkembangbiakan dan transmisi nyamuk, memungkinkan pihak berwenang untuk mengidentifikasi zona risiko tinggi (Prakash Nayak et al., 2025).

Studi di Kamboja menunjukkan potensi integrasi SIG dengan pengurutan genom (genomics) untuk mengidentifikasi patogen penyebab demam, termasuk dengue dan malaria. Pendekatan ini menggabungkan data geospasial dengan data genetik untuk pengawasan yang lebih mendalam,

menunjukkan langkah evolusioner berikutnya dalam epidemiologi (Bohl et al., 2022). Sementara itu, studi di Pondicherry, India, mengadopsi pendekatan berbasis komunitas yang sangat praktis.

Tim peneliti menggunakan SIG dengan pengambilan sampel grid yang sistematis untuk memetakan kepadatan vektor nyamuk *Aedes aegypti* di area perkotaan (Palaniyandi et al., 2014). Studi ini secara efektif mengidentifikasi blok-blok berisiko tinggi dan mengintegrasikan variabel sosio-ekonomi dan lingkungan, memberikan model yang sangat terperinci untuk intervensi skala mikro.

9.3.2 Pengendalian Malaria: Strategi Stratifikasi dan Situs Sentinel di Afrika

Di Afrika, penerapan SIG untuk pengendalian malaria telah menunjukkan hasil yang signifikan. Studi kasus di Zambia menunjukkan pemanfaatan SIG untuk melakukan stratifikasi nasional berdasarkan tingkat penularan parasit *Plasmodium falciparum*. Stratifikasi ini membagi negara menjadi tiga kategori epidemiologis: area transmisi sangat rendah, rendah, dan tinggi (Chanda et al., n.d.).

Strategi ini sangat efektif karena memungkinkan alokasi sumber daya yang lebih adil dan pengembangan program pengendalian malaria berbasis komunitas yang disesuaikan dengan kebutuhan spesifik di setiap wilayah (Wairimu, 2024). Selain itu, Zambia juga mendirikan 19 "situs sentinel" berbasis SIG yang berfungsi sebagai lokasi pemantauan berkelanjutan.

Situs-situs ini mengumpulkan data penting seperti tingkat parasitemia, profil resistensi insektisida, dan dampak intervensi, memungkinkan para pembuat kebijakan untuk secara terus-menerus menyesuaikan prosedur pengendalian (Chanda et al., n.d.). Pendekatan ini menunjukkan bagaimana SIG dapat digunakan untuk memantau dampak intervensi dari waktu ke waktu, yang merupakan elemen penting dari siklus manajemen penyakit.

Kedua studi kasus ini menggambarkan bahwa penggunaan SIG tidak bersifat universal dan harus disesuaikan dengan konteks spesifik penyakit dan geografi. Strategi stratifikasi di Zambia efektif untuk wilayah geografis yang luas dengan variasi prevalensi yang besar, sementara pendekatan berbasis grid dan komunitas di Pondicherry lebih cocok untuk area perkotaan yang padat.

Penerapan GIS dalam pengendalian penyakit tropis di Indonesia tidak dapat mengadopsi model yang sama untuk seluruh wilayah. Strategi yang digunakan harus sangat mempertimbangkan kondisi epidemiologi lokal (seperti jenis penyakit yang dominan di suatu daerah), faktor geografis (daerah pesisir, dataran rendah, pegunungan, atau daerah perkotaan padat), dan ketersediaan infrastruktur serta data setempat.

9.4 Peran Teknologi Pendukung: Penginderaan Jauh dan Aplikasi Seluler

Selain SIG, teknologi pendukung seperti penginderaan jauh (remote sensing) dan aplikasi seluler memainkan peran integral dalam membentuk sistem surveilans penyakit yang lebih komprehensif dan responsif.

9.4.1 Penginderaan Jauh (Remote Sensing)

Penginderaan jauh adalah metode untuk mengumpulkan data tentang permukaan bumi dari jarak jauh, biasanya menggunakan satelit atau. Dalam epidemiologi, teknologi ini sangat berharga karena kemampuannya untuk mengumpulkan data lingkungan pada skala besar dan berulang dari waktu ke waktu (Teitelbaum et al., 2024). Citra satelit dapat digunakan untuk mengidentifikasi habitat vektor penyakit (misalnya, area rawa atau genangan air), melacak perubahan lingkungan seperti deforestasi yang dapat memengaruhi ekologi penyakit (misalnya, di Sumatera dan Kalimantan), dan memantau faktor iklim yang menjadi prediktor wabah, seperti suhu, kelembaban, dan curah hujan (Habibi, 2025).

Sebagai contoh, pemanfaatan citra satelit untuk mengidentifikasi dan memetakan populasi yang tinggal di daerah terpencil yang tidak memiliki peta rinci, yang sangat penting untuk program vaksinasi (Higgins et al., 2019). Selain itu, teknologi ini juga digunakan untuk memetakan dampak bencana alam, seperti badai atau gempa bumi, untuk mengidentifikasi populasi yang terjebak dan merencanakan respons kesehatan darurat (Foster, Adams, et al., 2024).

Integrasi data penginderaan jauh ke dalam sistem GIS memungkinkan para ahli epidemiologi untuk menganalisis hubungan antara penyakit dan lingkungan pada skala yang lebih luas, memberikan gambaran besar yang penting untuk perencanaan strategis.

9.4.2 Aplikasi Seluler untuk Surveilans Real-time

Di era digital, aplikasi seluler telah muncul sebagai alat yang sangat penting untuk pengumpulan data epidemiologi di lapangan dan penyebaran informasi kesehatan. Aplikasi seperti SATUSEHAT Mobile, yang merupakan transformasi dari PeduliLindungi, dapat mengumpulkan data kesehatan individu, termasuk status vaksinasi dan rekam medis elektronik, yang dapat diintegrasikan dengan sistem pelayanan kesehatan. Demikian pula, aplikasi seperti Traker yang dikembangkan untuk melacak COVID-19 di Jakarta, menggunakan GPS untuk mencatat lokasi individu yang terinfeksi dan memberikan informasi terkini kepada Masyarakat (Chandra et al., 2021).

Integrasi data dari penginderaan jauh (skala makro, lingkungan) dan aplikasi seluler (skala mikro, individu) menciptakan sebuah sistem surveilans yang jauh lebih kuat dan komprehensif. Penginderaan jauh dapat mengidentifikasi area yang berpotensi menjadi sarang vektor (misalnya, genangan air setelah banjir), sementara aplikasi seluler dapat mengumpulkan data kasus individu secara real-time di area yang sama (Foster, Adams, et al., 2024). Dengan menggabungkan kedua sumber data ini dalam sebuah sistem SIG, ahli epidemiologi dapat dengan cepat mengidentifikasi kluster kasus dan menghubungkannya langsung dengan

faktor lingkungan yang baru terdeteksi. Sistem ini memungkinkan respons yang cepat dan antisipatif terhadap wabah, tanpa harus menunggu data agregat yang sering kali tertunda. (Jacquez, 2023)

9.5 Tantangan dan Hambatan dalam Penerapan SIG di Indonesia

Meskipun potensi SIG dan teknologi terkait sangat besar, implementasinya di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan signifikan. Hambatan-hambatan ini tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga terkait dengan sistem data dan sumber daya.

9.5.1 Masalah Data dan Infrastruktur

Salah satu tantangan terbesar adalah inkonsistensi dan keterbatasan data epidemiologi di tingkat fasilitas kesehatan primer seperti Puskesmas. Banyak Puskesmas masih mengandalkan sistem manual untuk mencatat rekam medis dan pelaporan, yang rawan terhadap kesalahan, tidak terintegrasi dengan sistem lain, dan rentan terhadap kehilangan. Studi menunjukkan bahwa data yang dikumpulkan sering kali tidak seragam standarnya, sehingga menyulitkan proses integrasi data ke dalam sebuah sistem nasional (Ariani & Yuliani, 2025).

Jika data yang dimasukkan ke dalam sistem SIG tidak akurat atau tidak lengkap, maka analisis spasial yang paling canggih sekalipun akan menghasilkan kesimpulan yang menyesatkan, yang bisa berakibat pada tindakan atau kebijakan yang tidak tepat. Ini menegaskan bahwa masalah utama bukanlah pada teknologi SIG itu sendiri, melainkan pada kelemahan fundamental dalam sistem pengumpulan data di tingkat paling dasar.

Selain itu, meskipun digitalisasi kesehatan terus didorong, masih ada kesenjangan infrastruktur teknologi yang signifikan, terutama di daerah terpencil. Jaringan internet yang tidak stabil dan ketersediaan perangkat

keras yang tidak memadai menjadi hambatan utama dalam adopsi sistem informasi manajemen berbasis web yang membutuhkan konektivitas real-time.

9.5.2 Keterbatasan Sumber Daya

Tantangan lain yang krusial adalah keterbatasan sumber daya manusia. Banyak staf kesehatan terutama di tingkat Puskesmas, memiliki kompetensi yang terbatas dalam mengoperasikan dan mengelola sistem informasi berbasis teknologi (Azharina & Sukawan, 2023; Nugroho et al., 2022). Bahkan ketika sistem telah diimplementasikan, penggunaannya mungkin tidak optimal karena kurangnya pelatihan dan dukungan. Sebuah studi menunjukkan bahwa tantangan utama yang dihadapi oleh Puskesmas adalah "manajemen data kesehatan yang suboptimal," yang secara langsung menghambat pemantauan program dan respons penyakit (Anggraini, 2025).

Secara institusional, masalah koordinasi antar lembaga dan biaya implementasi yang tinggi juga menjadi hambatan (Foster, Adams, et al., 2024; Sipe & Dale, 2003). Meskipun perangkat lunak open-source seperti Quantum GIS dan GeoDa telah membuat teknologi lebih mudah diakses, biaya awal untuk perangkat keras, pelatihan, dan pemeliharaan tetap menjadi kendala. Namun, inisiatif dari WHO dan Esri melalui program hibah lisensi perangkat lunak gratis untuk negara-negara berkembang telah menjadi solusi yang menjanjikan untuk mengatasi masalah ini.

9.6 Prospek Masa Depan dan Rekomendasi

Meskipun berbagai tantangan masih menghadang, masa depan yang cerah menanti bagi penerapan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan teknologi terkini dalam penanganan epidemiologi penyakit tropis di Indonesia. Adopsi tren teknologi baru, ditambah dengan penerapan rekomendasi

strategis yang tepat, bukan hanya akan membantu mengatasi hambatan yang ada tetapi juga membuka peluang untuk memaksimalkan potensi penuh dari teknologi ini.

9.6.1 Tren Teknologi Baru

Integrasi kecerdasan buatan (AI) ke dalam analisis geospasial, yang dikenal sebagai GeoAI, adalah tren masa depan yang paling menjanjikan. GeoAI dapat digunakan untuk mengidentifikasi kluster penyakit, membantu para peneliti mendiagnosis kluster tersebut dengan menghubungkannya pada faktor paparan lingkungan, dan bahkan menghasilkan hipotesis baru secara semi-otomatis (Jacquez, 2023).

Analisis prediktif juga akan memungkinkan para ahli epidemiologi untuk memodelkan dan memprediksi wabah penyakit sebelum terjadi, memungkinkan alokasi sumber daya yang proaktif dan intervensi pencegahan yang ditargetkan. Selain itu, organisasi global seperti WHO telah mendorong budaya geospasial dan kolaborasi melalui platform data terbuka dan kemitraan antar lembaga. Upaya ini sangat penting untuk meningkatkan berbagi data dan keahlian di seluruh dunia, yang dapat mempercepat kemajuan dalam manajemen penyakit di Indonesia.

9.6.2 Rekomendasi Kebijakan dan Strategi

Untuk sepenuhnya memanfaatkan potensi SIG, diperlukan pendekatan strategis yang menyeluruh. Berikut adalah beberapa rekomendasi kunci:

1. Penguatan kapasitas data dan SDM. Berdasarkan kerangka "GIS Hallmarks" CDC, sangat disarankan untuk membangun tenaga kerja yang terampil dalam SIG melalui program pelatihan yang berkelanjutan. Pelatihan ini tidak hanya harus mencakup penggunaan perangkat lunak, tetapi juga prinsip-prinsip manajemen data, analisis spasial, dan interpretasi temuan (CDC, 2024).

2. Standardisasi data dan infrastruktur. Pemerintah harus menetapkan standar nasional untuk pengumpulan dan format data epidemiologi guna memastikan interoperabilitas dan integrasi yang mulus dari berbagai sistem data di seluruh fasilitas kesehatan (Ariani & Yuliani, 2025). Investasi pada infrastruktur digital, termasuk akses internet yang stabil dan perangkat keras yang memadai, di seluruh daerah, sangat krusial untuk mendukung sistem real-time (Anggraini, 2025).
3. Kemitraan strategis. Mendorong kemitraan antara lembaga pemerintah (seperti Kementerian Kesehatan, BMKG), akademisi, dan sektor swasta dapat memfasilitasi berbagi data, keahlian, dan teknologi yang sangat dibutuhkan.

Secara keseluruhan, pemanfaatan SIG dan teknologi terkait telah mentransformasi epidemiologi penyakit tropis di Indonesia, beralih dari pemetaan statis dan deskriptif ke analisis dinamis yang mampu mengidentifikasi kluster dan faktor risiko yang spesifik. Meskipun Indonesia masih menghadapi tantangan signifikan terkait data, infrastruktur, dan sumber daya manusia, prospek masa depan sangat menjanjikan.

Dengan tren teknologi baru seperti GeoAI dan analisis prediktif, serta dorongan global untuk platform data terbuka dan kolaboratif, potensi untuk memperkuat sistem surveilans penyakit sangatlah besar. Penguatan sistem pengumpulan data di tingkat dasar, standardisasi, dan peningkatan kapasitas sumber daya manusia, Indonesia dapat sepenuhnya memanfaatkan teknologi ini untuk memprediksi, mencegah, dan merespons wabah penyakit tropis secara lebih efektif.

Daftar Pustaka

- Abbasi, E. (2025) 'The impact of climate change on travel-related vector-borne diseases', *The Lancet Regional Health – Southeast Asia*, 7, 100047. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S147789392500047X> (Accessed: 7 September 2025).
- Adriaty, D., & Nur, R. (2021). Determinan kejadian kusta di Indonesia: Tinjauan epidemiologi. *Jurnal Epidemiologi Kesehatan Indonesia*, 5(1), 45–54.
- Aisyah, D.N., et al. (2022) 'The Spatial-Temporal Distribution of Chronic Lymphatic Filariasis in Indonesia: A 18-Year Registry-Based Analysis', *Journal of Global Health Reports*, 13(4), pp. 49. Available at: <https://www.mdpi.com/2036-7481/13/4/49> (Accessed: 7 September 2025).
- Alene, K.A., Xu, Z., Bai, L., Yi, H., Tan, Y., Gray, D.J., ... & Clements, A.C.A. (2021) 'Spatial clustering of notified tuberculosis in Indonesia: A nationwide study', *Clinical Infectious Diseases*, 73(7), e1964–e1971.
- Alirol, E., et al. (2011) 'Urbanisation and infectious diseases in a globalised world', *The Lancet Infectious Diseases*, 11(2), pp. 131–141. Available at: [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(10\)70223-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(10)70223-1) (Accessed: 7 September 2025).

- Amin, S., Yuniarti, A., & Nurdin, M. (2022) A case-control study in high endemic malaria area, Papua, Indonesia. [Online] PMC: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11731674/>
- Amir, A., Desfiyanda, F., & Ifani, R. F. (2021). Dengue Hemorrhagic Fever : Sebuah Laporan Kasus Pendahuluan. *Collaborative Medical Journal (CMJ)*, 4(1), 16–20.
- Andriyani, S., Windahandayani, V. Y., Damayanti, D., Faridah, U., Sari, Y. I. P., Fari, A. I., Anggraini, N., Suryani, K., & Matongka, Y. H. (2021). Asuhan Keperawatan pada Anak. Kita Menulis.
- Anggraini, D. (2025). Tantangan dalam Implementasi Sistem Informasi Manajemen Puskesmas (SIMPUS): Tinjauan Literatur.
- Anselin, L., Li, X., & Koschinsky, J. (2022). GeoDa, From the Desktop to an Ecosystem for Exploring Spatial Data. *Geographical Analysis*, 54(3), 439–466. <https://doi.org/10.1111/GEAN.12311>
- Antara News. (2020, Januari 27). Hari Kusta Sedunia: Delapan Provinsi di Indonesia Masih Belum Eliminasi Kusta. Antara News Indonesia. <https://www.antaranews.com>
- Ariani, S., & Yuliani, R. D. (2025). Tantangan dalam Integrasi Data Kesehatan dari Berbagai Sistem Electronic Health Record dalam Sistem Kesehatan Nasional. *Vitamin: Jurnal Ilmu Kesehatan Umum*, 3(1), 229–236. <https://doi.org/10.61132/VITAMIN.V3I1.996>
- Arisanti, M., & Suryaningtyas, N. H. (2021). Kejadian Demam Berdarah Dengue (Dbd) Di Indonesia Tahun 2010-2019. *Spirakel*, 13(1), 34–41. <https://doi.org/10.22435/spirakel.v13i1.5439>
- Asri, Nuntaboot, K., & Festi Wiliyanarti, P. (2017). Community social capital on fighting dengue fever in suburban Surabaya, Indonesia: A qualitative study. *International Journal of Nursing Sciences*, 4(4), 374–377. <https://doi.org/10.1016/j.ijnss.2017.10.003>

- Azharina, N., & Sukawan, A. (2023). Penggunaan Aplikasi Quantum GIS Dalam Pemetaan Penyebaran Petugas Perekam Medis Dan Informasi Kesehatan Di Puskesmas Kota Tasikmalaya Tahun 2023. *Jurnal Rekam Medis Dan Informasi Kesehatan: J-REMIKES*, 2(1), 36–43.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan (2023) Laporan Survei Vektor dan Reservoir di Indonesia 2022–2023. Jakarta: Kementerian Kesehatan.
- Badan Pusat Statistik (BPS) (2023) Laporan Statistik Kesehatan Indonesia 2023. Jakarta: BPS.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah. (2022). Profil Kesehatan Provinsi Jawa Tengah Tahun 2020. *Profil Jateng*, 3511351(24), 116–118. <https://dinkesjatengprov.go.id/v2018/storage/2020/09/Profil-Jateng-tahun2019.pdf>
- Bappenas (2025) Rencana Aksi Nasional Kesehatan 2025-2030. Jakarta: Badan Perencanaan Pembangunan Nasional.
- Bausch, D.G., et al. (2020) Chikungunya virus: molecular pathogenesis and epidemiology, *Viruses*, 12(9), p. 953. doi:10.3390/v12090953.
- Bedi, J., Vijay, D., & Dhaka, P. (2022). *Textbook of Zoonoses*. Oxford: Wiley Blackwell.
- Bennett, J., et al. (2022) ‘Advances in tropical disease vaccines’, *The Lancet Infectious Diseases*, 22(4), hlm. 321-333.
- Bhopal, R.S. (2016) ‘Concepts of Epidemiology’, *Concepts of Epidemiology [Preprint]*. Available at: <https://doi.org/10.1093/med/9780198739685.001.0001>.
- Bintang, A. K., Basri, M. I., Lotisna, M., & Carrey, M. (2023). Rabies: Diagnostic, Treatment, and Prevention. *Nusantara Medical Science Journal*, 8(2), 1–13. Doi: <https://doi.org/10.20956/nmsj.vi.27671>.
- Bohl, J. A., Lay, S., Chea, S., Ah Yong, V., Parker, D. M., Gallagher, S., Fintzi, J., Man, S., Ponce, A., Sreng, S., Kong, D., Oliveira, F., Kalantar, K.,

- Tan, M., Fahsbender, L., Sheu, J., Neff, N., Detweiler, A. M., Yek, C., ... Manning, J. E. (2022). Discovering disease-causing pathogens in resource-scarce Southeast Asia using a global metagenomic pathogen monitoring system. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 119(11). <https://doi.org/10.1073/PNAS.2115285119>
- Bouter, L.M., Zielhuis, G.A. and Zeegers, M.P.. (2018) *Textbook of Epidemiology*. First ed. Houten: Bohn Stafleu van Loghum, Springer Nature.”
- Brady, O.J., et al. (2019) Detection of artemisinin-resistant *Plasmodium falciparum* in the Greater Mekong subregion, *Lancet Infectious Diseases*, 19(2), pp. 179-185.
- Budd, J., Miller, B.S., Manning, E.M., Lampos, V., Zhuang, M., Edelstein, M., Rees, G., Emery, V.C., Stevens, M.M., Keegan, N. & Short, M.J. (2020) 'Digital technologies in the public-health response to COVID-19', *Nature Medicine*, 26(8), pp. 1183–1192.
- Budihal, S.V. & Perwez, K. (2014). Leptospirosis Diagnosis: Competancy Of Various Laboratory Tests. *Journal Of Clinical And Diagnostic Research*, 8(1):199–202. doi:10.7860/JCDR/2014/6593.3950.
- Cameron, L. (2017) 'Scaling Up Sanitation: Evidence from an RCT in Indonesia', J-PAL Evidence Review, 8.6 years ago. Available at: https://www.povertyactionlab.org/sites/default/files/research-paper/3855_Scale_Up-Sanitation-Evidence-from-an-RCT-in-Indonesia_LisaCameron_Jan2017.pdf (Accessed: 7 September 2025).
- Cameron, L. (2021) 'Childhood stunting and cognitive effects of water and sanitation in Indonesia', ScienceDirect. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1570677X20302148> (Accessed: 7 September 2025).
- Campbell-Lendrum, D., Manga, L., Bagayoko, M. & Sommerfeld, J. (2023) 'Climate change and vector-borne diseases: what are the implications

- for public health research and policy?', *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 370(1665), p. 20130552.
- Candra, A. (2019). Asupan Gizi Dan Penyakit Demam Berdarah/ Dengue Hemoragic Fever (Dhf). *Journal of Nutrition and Health*, 7(2), 23–31.
- Cao, X., Zhao, Z., Zheng, Y., Su, C., Lei, Q., Li, W., & Li, C. (2025). Climate change threatens water resources over the Qinghai-Tibetan plateau. *Scientific Reports* 2025 15:1, 15(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-05925-x>
- CDC. (2024). Chronic Disease GIS Hallmarks. <https://www.cdc.gov/heart-disease-and-stroke-data/gis-capacity/gis-hallmarks.html>
- Celentano, David D and Szklo, M. (2019) *Gordis Epidemiology*. Sixth Edit. Philadelphia: Elsevier, Inc.
- Celentano, David D. and Szklo, M. (2019) *Gordis epidemiology sixth edition*, Elsevier. Inc. Available at: <https://zlibrary.to/dl/gordis-epidemiology>.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2024). About Leptospirosis. CDC. Diakses pada 10 September 2025, dari <https://www.cdc.gov/leptospirosis/about/index.html#:~:text=Without%20treatment%2C%20leptospirosis%20in%20people,spinal%20cord%2C%20liver%20failure%2C>.
- Chanda, E., Mukonka, V. M., Mthembu, D., Kamuliwo, M., Coetaz, S., & Shinondo, C. J. (n.d.). Can GIS Help Fight the Spread of Malaria? . ESRI. Retrieved 7 September 2025, from <https://www.esri.com/news/arcnews/fall12/articles/can-gis-help-fight-the-spread-of-malaria.html>
- Chandra, V., Hartanto, F., Spits Warnars, H. L. H., Assiroj, P., Moedjiono, S., Thang, N., Abdul Razak, F. H., & Wan Adnan, W. A. (2021). Traker: Mobile Application to Track Covid-19 In Jakarta Indonesia. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 16, 1536–1545.
- Chaurasia, R., Kumawat, M., Kumari, P., & Yadav, R. (2023). Role Of Toll-Like Receptors And NF-Kb Signaling In *Leptospira*

- Pathogenesis: Insights Into Immune Evasion And Inflammation. *Frontiers in Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.112345>.
- Chen, J., Liu, Q., Zhang, Y., et al. (2025) 'Global trends and burdens of neglected tropical diseases: A systematic analysis', *Global Health Research and Policy*, 8(1). Available at: <https://ghrp.biomedcentral.com/articles/10.1186/s41256-023-00306-1> (Accessed: 7 September 2025).
- Colón-González, F.J., et al. (2021) 'Projecting the risk of mosquito-borne diseases in a warmer and more populated world: a multi-model, multi-scenario intercomparison modelling study', *Lancet Planetary Health*, 5(7), e335–e345. Available at: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00132-7](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00132-7) (Accessed: 7 September 2025).
- Croda, J., Ramos, J.G.R., Matsunaga, J., Queiroz, A., Homma, A., Riley, L.W., Haake, D.A., Reis, M.G. & Ko, A.I. (2007). *Leptospira Immunoglobulin-Like Proteins As A Serodiagnostic Marker For Acute Leptospirosis*. *Journal of Clinical Microbiology*, 45(5), 1528–1534. doi:10.1128/jcm.02344-06.
- Cunningham, J., Jones, S., Gatton, M.L., Barnwell, J.W., Cheng, Q., Chiodini, P.L., Glenn, J., Incardona, S., Kosack, C., Luchavez, J., Menard, D., Nhem, S., Oyibo, W., Rees-Channer, R.R., Gonzalez, I.J. & Bell, D. (2022) 'A review of the WHO malaria rapid diagnostic test product testing programme (2008–2018): performance, procurement and policy', *Malaria Journal*, 21(1), p. 149.
- Currie, B. J., Dance, D. A. B., & Cheng, A. C. (2020). *Melioidosis: Evolving concepts in epidemiology, pathogenesis, and treatment*. *New England Journal of Medicine*, 382(15), 1448–1457. <https://doi.org/10.1056/NEJMra1904913>
- Curtis, V., Schmidt, W., Luby, S., Florez, R., Touré, O. & Biran, A. (2019) 'Hygiene: new hopes, new horizons', *The Lancet Infectious Diseases*, 11(4), pp. 312–321.

- Detik Health / Media lokal. (2023). Ada Lebih 800 Ribu Kasus, Angka TBC RI Peringkat Kedua Terbanyak di Dunia. detikHealth
- Detik Health. (2024, Januari 29). Kasus TBC Tinggi Karena Perbaikan Sistem Deteksi dan Pelaporan. Kemenkes.go.id. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia
- Djaafara, B.A., Sherrard-Smith, E., Churcher, T.S., et al. (2024) 'Shifts in Indonesia's malaria landscape: An analysis of 2010–2019 routine surveillance data', medRxiv. Available at: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2024.08.25.24312562v1> (Accessed: 7 September 2025).
- Dondorp, A. M., et al. (2017) 'Artemisinin resistance in *Plasmodium falciparum*: Global spread and local emergence', *The Lancet Infectious Diseases*, 17(12), pp. 1245-1246.
- Dubey, J. P. (2010) *Toxoplasmosis of Animals and Humans*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press.
- Duncombe, J., Clements, A., Hu, W., Weinstein, P., Ritchie, S., & Espino, F. E. (2012). Geographical Information Systems for Dengue Surveillance. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 86(5), 753. <https://doi.org/10.4269/AJTMH.2012.11-0650>
- Eni. (1967). Penyakit Tropis. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., Mi, 5–24.
- Environmental System Research Institute. (1996). What is GIS? Geographic Information System Mapping Technology. <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>
- ESRI. (2016). Quick and Simple Ways to Tame Point Data. <https://www.esri.com/about/newsroom/arcuser/quick-and-simple-ways-to-tame-point-data>
- ESRI. (2022). Multivariate Clustering (Spatial Statistics). <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/3.4/tool-reference/spatial-statistics/multivariate-clustering.htm>

- ESRI. (2025). Create and use a choropleth map—ArcGIS Insights. <https://doc.arcgis.com/en/insights/latest/create/choropleth-maps.htm>
- FAO (2022) Ecotourism and Health: Integrating Conservation with Disease Prevention. Rome: Food and Agriculture Organization. Tersedia di: <https://www.fao.org/ecotourism> (Diakses: 10 September 2025).
- Farihah, I.H., Juliardi NR, A.D., Arsiazi, B.A.A., Nabila, C. & Anggrayani, P. (2022). Neuropathogenesis Of Human Rabies. *KESANS: International Journal of Health and Science*, 1(4), 376–386. doi:10.54543/kesans.v1i4.37.
- Fauziyah, S. (2021) 'How should Indonesia consider its neglected tropical diseases?', *Journal of Tropical Medicine*, 22(3). Available at: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8056381/> (Accessed: 7 September 2025).
- Feachem, R.G.A., Chen, I., Akbari, O., Bertozzi-Villa, A., Bhatt, S., Binka, F., Boni, M.F., Buckee, C., Dieleman, J., Dondorp, A., Eapen, A., Gething, P.W., Golding, N., Gosling, R., Haakenstad, A., Harvard, K., Snow, R.W., Tulloch, J., Garske, T., ... Wenger, E. (2019) 'Malaria eradication within a generation: ambitious, achievable, and necessary', *The Lancet*, 394(10203), pp. 1056-1112.
- Feng, F., et al. (2024) 'Temperature-Driven Dengue Transmission in a Changing Climate: A Global Analysis', *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 18(8), e0009763. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0009763> (Accessed: 7 September 2025).
- Fenwick, A., Molyneux, D. & Nantulya, V. (2020) 'Achieving the 2030 goals for neglected tropical diseases', *BMJ Global Health*, 5(5), e002635.
- Foster, S., Adams, E., & Dent, A. (2024). Geographic Information System Data. CDC|Field Epidemiology Manual. <https://www.cdc.gov/field-epi-manual/php/chapters/gis-data.html>

- Fuady, A. (2024) 'Bridging the gap: financing health promotion and disease prevention in Indonesia', *Frontiers in Public Health*, 12, 11481782. Available at: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2024.11481782/full> (Accessed: 7 September 2025).
- G20 Global Innovation Hub (2023) *Financing Pandemic Prevention, Preparedness and Response: Lessons from the COVID-19 Pandemic*. Available at: <https://www.g20inhub.org/financing-ppp> (Accessed: 15 October 2023).
- Gerstman, B.B. (2013) *Epidemiology Kept Simple: An Introduction to Traditional and Modern Epidemiology*. 3rd ed. Oxford: A John Wiley & Sons, Ltd.
- GoodStats Indonesia. (2025). *Tembus 1 Juta Kasus, Pemerintah Fokus Tanggulangi TBC*. GoodStats
- Gubler, D.J. (2011) Dengue, urbanization and globalization: the unholy trinity of the 21st century. *Tropical Medicine & International Health*, 16(6), pp. 683-689.
- Habibi, M. (2025). GIS untuk Pemantauan Perubahan Iklim dan Dampaknya terhadap Ekosistem. *TechnoGIS Indonesia*. <https://www.technogis.co.id/gis-untuk-pemantauan-perubahan-iklim-dan-dampaknya-terhadap-ekosistem/>
- Halstead, S. B. (2017) Dengue virus–mosquito interactions, *Annual Review of Entomology*, 62, pp. 265-284.
- Halstead, S. B. (2017). Dengue Virus and The Host Immune Response. *Clinical Microbiology Reviews*, 30(1), 193–239. <https://doi.org/10.1128/CMR.00034-16>
- Hamzah, B. et al. (2021) *Epidemiologi*. Tasikmalaya: Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia.
- Harapan, H., Michie, A., Sasmono, R.T. & Imrie, A. (2020) 'Dengue: A minireview', *Viruses*, 12(8), 829.

- Heriana, C. et al. (2018) *Epidemiologi: Prinsip, Metode, dan Aplikasi dalam Kesehatan Masyarakat*. Bandung: PT. Refika Aditama.
- Higgins, J., Adamu, U., Adewara, K., Aladeshawe, A., Aregay, A., Barau, I., Berens, A., Bolu, O., Dutton, N., Iduma, N., Jones, B., Kaplan, B., Meleh, S., Musa, M., Wa Nganda, G., Seaman, V., Sud, A., Vouillamoz, S., & Wiesen, E. (2019). Finding inhabited settlements and tracking vaccination progress: The application of satellite imagery analysis to guide the immunization response to confirmation of previously-undetected, ongoing endemic wild poliovirus transmission in Borno State, Nigeria. *International Journal of Health Geographics*, 18(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/S12942-019-0175-Y/TABLES/4>
- Htay, M.N.N., et al. (2024) 'Knowledge and awareness of neglected tropical diseases in Indonesia: a scoping review', *Journal of Global Health Reports*, 8, e202400721. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213398424000721> (Accessed: 7 September 2025).
- Hussain, A., Ali, S., Ahmed, M. & Hussain, S. (2021) 'The Anti-vaccination Movement: A Regression in Modern Medicine', *Cureus*, 10(7), e2919.
- Ii, B. A. B., & Pustaka, T. (2009). Dan Ditularkan Melalui Gigitan Nyamuk. 1–6.
- INDONESIA, M. K. R. (2013). *Pedoman Tata Laksana Malaria*. Kementerian Kesehatan RI, 128, 1–62.
- Indrawan, U.(2019). *Asuhan Keperawatan Pada Pasien Post Appendectomy Perlaparotomy Eksplorasi Dengan Nyeri Akut Diruang Marjan Bawah Rsud Dr. Slamet Garut*.
- Indriyani, D. P. R., & Gustawan, I. W. (2020). Manifestasi klinis dan penanganan demam berdarah dengue grade 1: sebuah tinjauan pustaka. *Intisari Sains Medis*, 11(3), 1015–1019. <https://doi.org/10.15562/ism.v11i3.847>

- Ipa, M., et al. (2025) 'Urban-rural disparities in self-reported dengue infection', *The Lancet Regional Health – Southeast Asia*, 7, 100061. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589791825000611> (Accessed: 7 September 2025).
- IPCC (2022) *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press. Available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> (Accessed: 5 September 2025).
- IPCC (2022)**Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Tignor, M., Poloczanska, E.S., Mintenbeck, K., Alegría, A., et al. (eds.)]. Cambridge University Press.
- IPIP (2022) *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press. Available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> (Accessed: 6 September 2025).
- Irianti, S. (2021) 'Rural–Urban Disparities in Access to Improved Sanitation in Indonesia: A Decomposition Approach', *SAGE Open*, 11(3), pp. 215824402110299. Available at: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/21582440211029920> (Accessed: 7 September 2025).
- Irvine, M.A., Stolk, W.A., Smith, M.E., Subramanian, S., Singh, B.K., Weil, G.J., Michael, E. & Hollingsworth, T.D. (2020) 'Effectiveness of a triple-drug regimen for global elimination of lymphatic filariasis: a modelling study', *The Lancet Infectious Diseases*, 17(4), pp. 451–458.
- Jacquez, G. (2023). *GIS and Public Health: 8 Trends for 2024*. Science Science. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.146.3642.347>
- Jakarta Health Authority (2024) 'Impact of the integrated HAE dengue control program in Jakarta, 2019–2022', *Jakarta Medical Journal*, 28(2), hlm. 145–159.

- Jibon, M.J.N. (2024) 'Impact of climate change on vector-borne diseases', *Science of the Total Environment*, 789, 147789. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001706X24002559> (Accessed: 7 September 2025).
- Katz, D.L. et al. (2014) *Jekel's Epidemiology, Biostatistics, Preventive Medicine, and Public Health*. Fourth ed. Philadelphia: Saunders, an imprint of Elsevier Inc.
- Katzelnick, L.C., et al. (2017) Antibody-dependent enhancement of dengue disease in humans, *Science*, 358(6365), pp. 929-932.
- Kaur, R., et al. (2023) Molecular epidemiology of dengue virus serotype 3 in Jakarta, Indonesia, *Virus Research*, 306, 198645.
- Kemendes (2020) *Riset Kesehatan Dasar: Profil Penyakit NTD di Indonesia*, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, Jakarta.
- Kemendes (2021) *Laporan Tahunan Dengue Hemorrhagic Fever 2021*, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, Jakarta.
- Kemendes (2022) *Laporan Tahunan Malaria 2022*, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, Jakarta.
- Kemendes (2023) *Profil Kesehatan Indonesia 2023*. Jakarta: Kementerian Kesehatan.
- Kemendes (2024) *Peraturan Menteri Kesehatan No.69/2022 tentang Pengendalian Vektor Penyakit Menular*. Jakarta: Kementerian Kesehatan.
- Kemendes RI. (2022). *Profil Kesehatan Indonesia 2021*. In [Pusdatin.Kemendes.Go.Id](https://pusdatin.kemendes.go.id).
- Kemendes (2023) *Indonesia Healthy Communities: Laporan Capaian Imunisasi 2020-2023*. Jakarta: Kementerian Kesehatan.
- Kemendes (2024) *Laporan Tahunan Penyakit Menular di Indonesia 2023-2024*. Jakarta: Kementerian Kesehatan. Available at: <https://www.kemkes.go.id/> (Accessed: 5 September 2025).

- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (2025) 'Indonesia Serious Eliminasi Malaria: 79% Wilayah Sudah Bebas, Target Nasional Tuntas 2030'. Available at: <https://kemkes.go.id/eng/indonesia-serius-eliminasi-malaria-79-wilayah-sudah-bebas-target-nasional-tuntas-2030> (Accessed: 7 September 2025).
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (Kemenkes RI). (2024). Profil Kesehatan Indonesia 2023. Jakarta: Kemenkes RI.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2024, Maret 25). Update Kasus Tuberkulosis di Indonesia: Kemenkes Capai 81 Persen dari Target Deteksi 2024. Kompas.com. Health Kompas
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2025, Maret 24). Kemenkes: 81 persen kasus TBC Indonesia berhasil ditemukan pada 2024 [Rilis pers]. ANTARA. ANTARA News
- Kementerian Kesehatan RI. (2020, Agustus 25). Sistem Informasi Penyakit Kusta (SIPK): Laporan Kasus Kusta Nasional. Jakarta: Direktorat Jenderal P2P
- Kementerian Kesehatan RI. (2020). Status Eliminasi Penyakit Kusta per Provinsi di Indonesia. Direktorat Jenderal P2P, Kemenkes RI.
- Kementerian Lingkungan Hidup & Kehutanan (2023) Monitoring Reservoir Satwa Liar di Hutan Tropis. Jakarta: Kementerian LHK.
- Kilpatrick, A.M., et al. (2008) Temperature, vector-borne disease, and the case for hotter-summer strategies. *Ecology Letters*, 11(12), pp. 1252-1259.
- Kompas. (2020). Status Eliminasi Penyakit Kusta di Indonesia: Infografis. Kompas.com. <https://www.kompas.com>
- Kraak, M. J., & Ormeling, F. (2010). *Cartography: Visualization of Spatial Data*. Guilford Publications. <https://books.google.co.id/books?id=LelyAAAAQBAJ>

- Krause, J., et al. (2015) 'Ecology of vector-borne diseases', *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 46, pp. 387-418.
- Kulkarni, M.A., et al. (2022) 'Charting the evidence for climate change impacts on the transmission and spread of malaria and dengue', *Globalization and Health*, 18(1), 1–14. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12992-021-00793-2> (Accessed: 7 September 2025).
- Lau, C.L., Mayfield, H.J., Watson, C.H., Kama, M., Nilles, E.J. & Musso, D. (2023) 'Climate change, flooding, and leptospirosis: A systematic review', *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 17(5), e0011169.
- Lavery, J.V., Tinadana, P.O., Scott, T.W., Harrington, L.C., Ramsey, J.M., Ytuarte-Nuñez, C. & James, A.A. (2020) 'Towards a framework for community engagement in global health research', *Trends in Parasitology*, 36(3), pp. 258-271.
- Lee, J., et al. (2019) 'Current Status of Parasite Infections in Indonesia', *Journal of Global Health*, 9(1), pp. 010402. Available at: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6753303/> (Accessed: 7 September 2025).
- Ling, M.Y.J., Halim, A.F.N.A., Ahmad, D., Ramly, N., Hassan, M.R., Rahim, S.S.S.A. (2023). Rabies In Southeast Asia: A Systematic Review Of Its Incidence, Risk Factors And Mortality. *BMJ Open*, 13, 1-8. doi:10.1136/bmjopen-2022-066587.
- Liu, J., et al. (2021) Molecular mechanisms of ivermectin resistance in *Wuchereria bancrofti*, *Parasitology International*, 70(6), p. 606-614.
- Liu, Y., et al. (2024) 'Satellite-derived environmental predictors of vector-borne disease risk', *Remote Sensing of Environment*, 285, 113206.
- Lizer, J., Velineni, S., Weber, A., Krecic, M., & Meeus, P. (2017). Evaluation Of 3 Serological Tests For Early Detection Of *Leptospira*-Specific Antibodies In Experimentally Infected Dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 32(1), 201–207. doi:10.1111/jvim.14865.

- López-Escamilla, E., Quintero, J., González-Andrade, M., Alarcón-Lerma, M., Maravilla, P. & Sánchez-Manzano, R.M. (2023) 'Next-Generation Sequencing for Protozoan Pathogen Detection and Identification', *Pathogens*, 12(4), p. 587.
- Lukman Hakim. (2017). *Malaria: Epidemiologi dan Diagnosis*. Aspirator, 3(2), 107–116.
- Mabey, D. & Djuardi, Y. (2019) Filariasis lymphatic: current concepts in epidemiology and control, *Lancet Infectious Diseases*, 19(7), pp. 757-767.
- Mackey, T.K., Kohler, J.C., Savedoff, W.D., Vogl, F., Lewis, M., Sale, J., Michaud, J. & Vian, T. (2022) 'The disease of corruption: views on how to fight corruption to advance global health', *PLOS Global Public Health*, 2(4), e0000007.
- MacLachlan, N.J. & Dubovi, E.J. (eds.). (2011). *Rhabdoviridae*. In: *Fenner's Veterinary Virology*. 4th ed. Tokyo: Academic Press.
- Manguin, S., et al. (2005) Land-use changes and malaria in the Amazon Basin: An ecological perspective, *The Lancet*, 365(9460), pp. 1491-1495.
- Maria, E. (2023). Sistem Informasi Geografis Pemetaan Penyebaran Penyakit Berbasis Web di Pekalongan. *Semnasteknomedia Online*, 1(4). <https://ojs.amikom.ac.id/index.php/semnasteknomedia/article/view/621>
- Marina, R. (2023) 'Climate and vector-borne diseases in Indonesia', *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 21(2), pp. 123-135. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36367556/> (Accessed: 7 September 2025).
- Marston, C., Renedo, A. & Miles, S. (2023) 'Community participation is crucial in a pandemic', *The Lancet*, 397(10284), pp. 1671-1673.

- Merrill, R.M. (2017) *Introduction to Epidemiology*. Seventh Ed. Burlington, United State of America: Jones & Bartlett Learning, LLC, an Ascend Learning Company All.
- Miller, A., et al. (2022) 'Rapid diagnostic tests for malaria in Papua: field evaluation and impact', *Malaria Journal*, 21, 112.
- Modena, G. (2023) 'mRNA vaccines for emerging tropical viruses', *Nature Biotechnology*, 41, hlm. 605-610.
- Monath, T.P., Gershman, M., Staples, J.E. & Barrett, A.D.T. (2023) 'Yellow fever vaccine', in Plotkin, S.A., Orenstein, W.A., Offit, P.A. & Edwards, K.M. (eds.) *Plotkin's Vaccines*. 7th edn. Philadelphia: Elsevier, pp. 1181-1265.
- Murray, C.J.L., et al. (2019) Global burden of disease of malaria at 2020: an analysis of 143 countries. *Nature Medicine*, 26, pp. 70-78.
- Murti, B. (2022) *Metode Kuantitatif Riset Epidemiologi*. Edisi Pert. Solo: CV Dewa Publishing.
- Musa, G. J., Chiang, P. H., Sylk, T., Bavley, R., Keating, W., Lakew, B., Tsou, H. C., & Hoven, C. W. (2013). Use of GIS Mapping as a Public Health Tool—From Cholera to Cancer. *Health Services Insights*, 6, 111. <https://doi.org/10.4137/HSL.S10471>
- Ngastiyah. 2005. *Perawatan Anak Sakit Edisi 2*. Jakarta : Penerbit EGC.
- Nugroho, M. F., Mutiah, N., & Rahmayuda, S. (2022). Sistem Informasi Geografis Pemetaan Penyakit Menular Menggunakan Pengukuran Epidemiologi Berbasis Website. *Coding Jurnal Komputer Dan Aplikasi*, 10(01), 12. <https://doi.org/10.26418/coding.v10i01.51324>
- Nuraisyah, F., Nurlaily, N., Ruliyandari, R., Iriyanti, A., Irmanto, M., & Sugiarto, S. (2022). Malaria Surveillance Mapping in Yogyakarta Special Region, Indonesia. *Journal of Epidemiology and Public Health*, 7(4), 562–572. <https://doi.org/10.26911/JEPUBLICHEALTH.2022.07.04.12>

- Nurarif & Hardhi. 2015. Aplikasi Asuhan Keperawatan Berdasarkan Diagnosa Medis & Nanda Nic-Noc Panduan penyusunan Asuhan Keperawatan Profesional. Yogyakarta : Mediaction Jogja.
- Nuryanti, E., Kistimbar, S., Sutarmi, S., & Aprilia, R. D. (2022). Anak Dengue Haemorigic Fever Dengan Fokus Pengelolaan Hipertermi. *Jurnal Studi Keperawatan*, 3(1), 18–21. <https://doi.org/10.31983/j-sikep.v3i1.8364>
- O'Neill, J. (2016) Tackling drug-resistant infections globally: final report and recommendations. Review on Antimicrobial Resistance. Available at: https://amr-review.org/sites/default/files/160525_Final%20paper_with%20cover.pdf (Accessed: 15 October 2023).
- O'Neill, J. (2022) 'Review on Antimicrobial Resistance: Tackling a crisis for the health and wealth of nations'. Wellcome Trust. Available at: <https://amr-review.org/> (Accessed: 15 October 2023).
- Palaniyandi, M., Maniyosai, R., & Anand, P. H. (2014). GIS based community survey and systematic grid sampling for dengue epidemic surveillance, control, and management: a case study of Pondicherry Municipality. ~ 72 ~ *International Journal of Mosquito Research*, 1(4), 72–80.
- Pallikarakis, A., Konstantopoulou, F., Pallikarakis, A., & Konstantopoulou, F. (2024). Multi-Criteria Wildfire Risk Hazard Assessment in GIS Environment: Projection for the Future and Impact on RES Projects Installation Planning. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 12(5), 242–265. <https://doi.org/10.4236/GEP.2024.125014>
- Pan American Health Organization (PAHO). (2025). Leptospirosis. PAHO. Diakses pada 8 September 2025, dari <https://www.paho.org/en/topics/leptospirosis>.
- Pare, G., Neupane, B., Eskandarian, S., Harris, E., Halstead, S., Gresh, L., Kuan, G., Balmaseda, A., Villar, L., Rojas, E., Osorio, J. E., Anh, D. D., De Silva, A. D., Premawansa, S., Premawansa, G., Wijewickrama, A.,

- Lorenzana, I., Parham, L., Rodriguez, C., ... Loeb, M. (2020). Genetic risk for dengue hemorrhagic fever and dengue fever in multiple ancestries. *EBioMedicine*, 51, 102584. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2019.11.045>
- Pemda Jawa Timur (2023) Laporan Tahunan Kesehatan 2023: Program Pemantauan Malaria di Jawa Timur. Surabaya: Dinas Kesehatan Provinsi Jawa Timur.
- Perangin-angin, S.B. and Tarigan, D. (2022) *Epidemiologi Kesehatan*. Malang: CV. Literasi Nusantara Abadi.
- Peters, D.H. (2022) The role of health systems in neglected tropical diseases. In: Farrar, J., Hotez, P.J., Junghanss, T., Kang, G., Lalloo, D., & White, N.J. (eds.) **Manson's Tropical Diseases**. 23rd edn. Elsevier, pp. 125-132.
- Piper, J., Howlett, A., Strange, E., You, M. & Guttery, D. (2023) 'Next-generation vaccines: nanoparticle-mediated DNA and mRNA delivery', *Advanced Healthcare Materials*, 12(16), e2202682.
- Prakash Nayak, P., Pai B., J., & Govindan, S. (2025). Leveraging geographic information system for dengue surveillance: a scoping review. *Tropical Medicine and Health*, 53(1), 102. <https://doi.org/10.1186/S41182-025-00783-9>
- Prasad, V., et al. (2022) Urbanization and the rise of dengue in Indonesia: A spatial analysis, *International Journal of Infectious Diseases*, 115, pp. 1-9.
- Priyankara, W. D. R., Fernando, H., & Jayasinghe, S. (2024). Severe Pulmonary Complications of Leptospirosis: Alveolar Hemorrhage and ARDS As Predictors of Mortality. *Clinical Infectious Diseases*, 79(5), 876–884. <https://doi.org/10.1093/cid/ciad245>.
- Prodyanatasari, A., Ronald, Asrianto, L. O., Anggraeni, Y. M., Gustin, R. K., Tan, H. T., Sari, A. I., Rahayu, N., Rita, R. S., Salim, N. A., Faisal, D. R.,

- & Sudayasa, I. P. (2024). *Epidemiologi Penyakit Tropis* Penerbit Cv.Eureka Media Aksara.
- PubMed (2022) 'Impact of diabetes mellitus on tuberculosis epidemiology in Indonesia: A mathematical modeling analysis', PubMed Central. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35288340/> (Accessed: 7 September 2025).
- Purnama, D., et al. (2023) 'Rain-garden implementation reduces Aedes larval habitats in urban Bali', *Environmental Health Perspectives*, 131(7), 077008.
- Puspitasari, D., Sari, R., & Wirawan, E. (2020) 'Hubungan antara anemia dan infeksi dengue pada anak di Jawa Barat', *Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional*, 6(1), pp. 45–52.
- Putri, E. L., Arifin, M., & Prasetyo, R. (2022) 'Pengaruh literasi kesehatan terhadap perilaku pencegahan DBD di wilayah endemik', *Jakarta: Kajian Kesehatan Komunitas*, 8(2), pp. 112–125.
- Raharjo, D., et al. (2022) 'Prevalence of Bartonella henselae in stray cats of West Java', *Veterinary Parasitology*, 270, p. 109585.
- Rasyid, M. A., Husnan, S., & Lestari, D. (2021) 'Pengaruh perilaku kebersihan rumah terhadap penyebaran DBD di Kabupaten Bantaeng', *Jurnal Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 7(1), pp. 33–41.
- Reuters (2024) 'Indonesia ramps up fight against tuberculosis amid concerns on economic impact'. Available at: <https://www.reuters.com/business/healthcare-pharmaceuticals/indonesia-ramps-up-fight-against-tuberculosis-amid-concerns-economic-impact-2024-06-10/> (Accessed: 7 September 2025).
- Reuters. (2024, Juni 10). Indonesia ramps up fight against tuberculosis amid concerns on economic impact. Reuters

- Rifkin, S.B. (2021) 'Lessons from community participation in health programmes: a review of the post Alma-Ata experience', *International Health*, 13(1), pp. 41-46.
- Rivera, L., Biswal, S., Sáez-Llorens, X., Reynales, H., López-Medina, E., Borja-Tabora, C., Bravo, L., Sirivichayakul, C., Kosalaraksa, P., Martinez, A.T., Coronel, D.L., Borkowski, A., Wallace, D., Tuboi, S., Bhardwaj, N., Gordon, G.S., Sausser, M.L., Noriega, F. & Saville, M. (2019) 'Three-year Efficacy and Safety of Takeda's Dengue Vaccine Candidate (TAK-003)', *Clinical Infectious Diseases*, 75(1), pp. 107-117.
- Roach, R. R. (2012). Malaria. *Tropical Pediatrics: A Public Health Concern of International Proportions*, 4(2), 83.
- Rocklöv, J. & Dubrow, R. (2020) 'Climate change: an enduring challenge for vector-borne disease prevention and control', *Nature Immunology*, 21(5), pp. 479-483.
- Rohani, S., et al. (2024) 'One Health GIS mapping for vector-reservoir risk in Surabaya', *International Journal of Health Geographics*, 23, 45.
- Rohman, A., et al. (2023) Emergence of benzimidazole-resistant *Ascaris lumbricoides* in Sulawesi, *Tropical Medicine & International Health*, 28(1), pp. 100-108.
- Rothman, K. J. (2012). *Epidemiology An Introduction*. Oxford University Press, Inc. Published.
- Rothman, K.J. (2012) *Epidemiology: An Introduction*. 2nd ed. New York."
- Ryan, S.J., et al. (2015) Global expansion and redistribution of Aedes-borne virus transmission risk with climate change. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 9(3), e0003671.
- Salim, M.F., et al. (2025) 'Understanding local determinants of dengue: a geographically weighted panel regression approach in Yogyakarta, Indonesia', *Tropical Medicine and Health*, 53(1), 34. Available at:

- <https://tropmedhealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s41182-025-00734-4> (Accessed: 7 September 2025).
- Saputra, R., Aryantiningsih, D. S., & Parlin, W. (2024). Visualiasi Pemetaan Spatial Kesehatan Untuk Memperkuat Kesiapsiagaan Kesehatan Masyarakat (Cetakan I). PT. Literasi Nusantara Abadi Grup.
- Sari, D. M., Kusumawati, N., & Indrawati, R. (2021) 'Hubungan stunting dengan anemia, morbiditas dan perkembangan pada balita di DKI Jakarta', *Jurnal Epidemiologi dan Kesehatan*, 7(1), pp. 4-15.
- Schaefer, Panda, & Wolford. (2022a). *Dengue Fever Pathophysiology*. 1–6.
- Schaefer, T. J., Panda, P. K., & Wolford, R. W. (2022b). *Dengue Fever*. StatPearls Publishing.
- Schneider, D. and Lilienfeld, D.E. (2015) *Lilienfeld's Foundations of Epidemiology*. New York: Oxford University Press.
- Sethi, S., Verma, R., & Kumar, A. (2025). Immune-Mediated Kidney Injury In Leptospirosis: From Acute Kidney Injury To Chronic Kidney Disease. *Kidney International Reports*, 10(2), 123–135. <https://doi.org/10.1016/j.ekir.2025.01.005>.
- Sigdel, R. (2022). Comparison between ArcGIS Dashboard, Tableau Dashboard, and R Flexdashboard. <https://towardsdatascience.com/comparison-between-arcgis-dashboard-tableau-dashboard-and-r-flexdashboard-86604cd125d1/>
- Sihombing, M., et al. (2021) 'Community-based vector control: effectiveness of source reduction in West Java', *Tropical Medicine & International Health*, 26(5), hlm. 567-575.
- Silalahi, Y., et al. (2021) MDR *Mycobacterium leprae* strains in Eastern Indonesia, *International Journal of Infectious Diseases*, 108, p. 218-224.
- Silva-Sousa, D., et al. (2022) Genetic variability of chikungunya virus in Indonesia and its clinical implications, *BMC Infectious Diseases*, 22, p. 1245.

- Simmons, C. P., et al. (2012) Dengue virus. *Nature Reviews Disease Primers*, 2, 16055.
- Simpson, H.J. (2020) *Ascaris lumbricoides*: infection dynamics and management in tropical regions, *Journal of Parasitology*, 106(3), pp. 245-252.
- Singh, B., et al. (2004) 'A large focus of *Plasmodium knowlesi* infection in human beings in Malaysia', *The Lancet*, 363(9414), pp. 1017-1024.
- Singh, S.S. (2007). Clinical Manifestations. In World Health Organization (2007), *Leptospirosis Laboratory Manual*. World Health Organization. Diakses pada 10 September 2025, dari <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/205429/B2147.pdf?sequence=1>.
- Sipe, N. G., & Dale, P. (2003). Challenges in using geographic information systems (GIS) to understand and control malaria in Indonesia. *Malaria Journal*, 2(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-2-36/METRICS>
- Siwiendrayanti, A., et al. (2025) 'Spatial Analysis and Behavior Evaluation to Identify Differentiating Factors of Filariasis Endemic Status', *Environmental and Tropical Medicine*, 8(1), pp. 1-10. Available at: <https://journal2.unusa.ac.id/index.php/ETM/article/download/7084/2780/34240> (Accessed: 7 September 2025).
- Stithaprajna Pawestri, N. M., Dharmasanthi, D. G. D., & Wiradewi Lestari, A. A. (2020). Gambaran pemeriksaan serologi, darah lengkap, serta manifestasi klinis demam berdarah dengue pasien dewasa di RSUD Sanglah Denpasar periode Januari sampai Desember 2016. *Intisari Sains Medis*, 11(2), 856–860. <https://doi.org/10.15562/ism.v11i2.222>
- Surendra, H., et al. (2024) 'Mitigating risks of malaria and other vector-borne diseases', *Nature Communications*, 15(1), 14891. Available at: <https://www.nature.com/articles/s41467-024-54891-x> (Accessed: 7 September 2025).

- Sutrimah, Sumanto, D., & Sri Widodo. (2019). Validitas Diagnosis Suspek Malaria Pada Pasien Demam Di Puskesmas Kaligesing Kabupaten Purworejo. Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Muhammadiyah Semarang, 9–26. <http://repository.unimus.ac.id/1099/>
- Syaifudin. 2016. Ilmu Biomedik Dasar. Jakarta : Salemba Medik
- Tableau. (2025). Healthcare and Life Sciences Analytics. <https://www.tableau.com/solutions/industries/healthcare-life-sciences>
- Taylor, A.J., Paris, D.H., & Newton, P.N. (2015). A Systematic Review of the Mortality from Untreated Leptospirosis. PLOS Neglected Tropical Diseases, 9(6), 1-13. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003866>.
- Teitelbaum, C. S., Ferraz, A., De La Cruz, S. E. W., Gilmour, M. E., & Brosnan, I. G. (2024). The potential of remote sensing for improved infectious disease ecology research and practice. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 291(2037), 20241712. <https://doi.org/10.1098/RSPB.2024.1712>
- The Lancet Countdown (2023) Lancet Countdown on Health and Climate Change: Policy Brief for Indonesia. Available at: <https://www.lancetcountdown.org/resources/> (Accessed: 15 October 2023).
- Thomas, J.A., et al. (2004) Butterfly monitoring and sustainable habitat management in tropical forests. Conservation Biology, 18(5), pp. 1220-1229.
- Thomson, M.C., et al. (2022) 'Climate Change and Vector-Borne Disease Transmission', New England Journal of Medicine, 387(1), 1–11. Available at: <https://doi.org/10.1056/NEJMra2200092> (Accessed: 7 September 2025).
- Tiemersma, E. W., van der Werf, M. J., Borgdorff, M. W., Williams, B. G., & Nagelkerke, N. J. D. (2011). Natural history of tuberculosis: Duration

- and fatality of untreated pulmonary tuberculosis in HIV negative patients: A systematic review. *PLoS ONE*, 6(4), e17601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017601>
- Tom-Aba, D., Silenou, B.C., Doerrbecker, J., Fourie, C., Leitner, C., Wahnschaffe, M., Strysewske, M., Arinze, C.C., Krause, G. & Ihekweazu, C. (2020) 'The Surveillance Outbreak Response Management and Analysis System (SORMAS): Digital Health Global Goods Maturity Assessment', *JMIR Public Health and Surveillance*, 6(2), e15860.
- UN-Water (2021) *Improving Sanitation and Hygiene in Tropical Regions*. Nairobi: United Nations Water. Tersedia di: <https://www.unwater.org/publications> (Diakses: 7 September 2025).
- UNDP (2021) *Human Development Report: Indonesia 2021*. New York: United Nations Development Programme.
- Utama, I.M.S., et al. (2019) 'Dengue viral infection in Indonesia: Epidemiology and clinical features', *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 13(4). Available at: <https://journals.plos.org/plosntds/article?id=10.1371/journal.pntd.0007785> (Accessed: 7 September 2025).
- Utami, T. P., Hasyim, H., Kaltsum, U., Dwifitri, U., Meriwati, Y., Yuniwati, Y., Paridah, Y., & Zulaiha, Z. (2022). Faktor Risiko Penyebab Terjadinya Malaria di Indonesia: Literature Review. *Jurnal Surya Medika*, 7(2), 96–107. <https://doi.org/10.33084/jsm.v7i2.3211>
- Verma, V., Goyal, M., Kala, D., Gupta, S., Kumar, D., & Kaushal, A. (2020). Recent Advances In The Diagnosis Of Leptospirosis. *Frontiers in Bioscience*, 25(9), 1655–1681. doi:10.2741/4872.
- Verma, V., Goyal, M., Kala, D., Gupta, S., Kumar, D., & Kaushal, A. (2020). Recent Advances In The Diagnosis of Leptospirosis. *Frontiers in Bioscience*, 25(9), 1655–1681. doi:10.2741/4872.

- Vittor, A.Y., et al. (2006) Linking deforestation to malaria in the Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(49), pp. 18530-18535.
- Wahl, B., Cossy-Gantner, A., Germann, S. & Schwalbe, N.R. (2021) 'Artificial intelligence (AI) and global health: how can AI contribute to health in resource-poor settings?', *BMJ Global Health*, 3(4), e000798.
- Wairimu, K. (2024). Mapping Malaria: Utilizing Geographic Information Systems (GIS) for Spatial Analysis of Transmission Hotspots in West and East Africa. *Research Invention Journal of Biological and Applied Sciences*, 4(3), 12–17. <https://doi.org/10.59298/RIJBAS/2024/431217>
- Wang, W. H., Lin, C. Y., Chang, K., Urbina, A. N., Assavalapsakul, W., Thitithanyanont, A., Lu, P. L., Chen, Y. H., & Wang, S. F. (2019). A clinical and epidemiological survey of the largest dengue outbreak in Southern Taiwan in 2015. *International Journal of Infectious Diseases*, 88, 88–99. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2019.09.007>
- Webb, P. and Bain, C. (2011) *Essential Epidemiology: An Introduction for Students and Health Professionals*. 2nd ed. Cambridge University Press.
- WHO (2019) 'Access for all to clean water is essential to eliminating neglected tropical diseases', World Health Organization. Available at: <https://www.who.int/southeastasia/news/detail/21-03-2019-access-for-all-to-clean-water-is-essential-to-eliminating-neglected-tropical-diseases> (Accessed: 7 September 2025).
- WHO (2021) 'Evidence-informed action to eliminate malaria in Indonesia'. Available at: <https://www.who.int/about/accountability/results/who-results-report-2020-mtr/country-story/2021/indonesia> (Accessed: 7 September 2025).
- WHO (2022) *Global dengue and severe dengue report 2022*. Geneva: World Health Organization.

- WHO (2022) World malaria report 2022. Geneva: World Health Organization. Available at: <https://www.who.int/teams/global-malaria-programme/reports/world-malaria-report-2022> (Accessed: 7 September 2025).
- WHO (2023) 'Global Tuberculosis Report 2023', World Health Organization, 7 November. Available at: <https://www.who.int/teams/global-programme-on-tuberculosis-and-lung-health/tb-reports/global-tuberculosis-report-2023> (Accessed: 7 September 2025).
- WHO (2023) Climate change and health: implications for vector-borne diseases. Geneva: World Health Organization.
- WHO (2023) Guidelines for the treatment of lymphatic filariasis, World Health Organization, Geneva. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345647>.
- WHO Indonesia (2024) 'Dengue Situation in Indonesia', World Health Organization, 30 July. Available at: <https://www.who.int/indonesia/news/detail/30-07-2024-indonesia-takes-decisive--pioneering-action-to-strengthen-multisource-collaborative-surveillance-for-dengue> (Accessed: 7 September 2025).
- WHO Indonesia (2024) 'New WHO regional strategy supports Indonesia's mission to end NTDs by 2030', World Health Organization, 19 November. Available at: <https://www.who.int/indonesia/news/detail/19-11-2024-new-who-regional-strategy-supports-indonesia-s-mission-to-end-ntds-by-2030> (Accessed: 7 September 2025).
- WHO Indonesia (2025) 'Malaria Situation in Indonesia', World Health Organization, 31 March. Available at: <https://www.who.int/indonesia/news/detail/31-03-2023-time-to-look-back-to-plan-indonesia-s-malaria-free-future> (Accessed: 7 September 2025).
- WHO. (2021). Dengue and Severe Dengue. World Health Organization.

- WHO. (2025). GIS, geospatial solutions for health, Geographic Information System, Storymap, GIS Center. WHO GIS Centre for Health. <https://www.who.int/data/GIS>
- Wibawa, B.S.S. (2024) 'The impact of climate variability on dengue fever risk in Indonesia', *Environmental Research Letters*, 19(3), 034012. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240588072300095X> (Accessed: 7 September 2025).
- Wibawa, B.S.S., et al. (2024) 'The impact of climate variability on dengue fever risk in Indonesia', *Science of the Total Environment*, 876, 162693. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162693> (Accessed: 7 September 2025).
- Wibawa, T. (2016) 'Magnitude of Neglected Tropical Diseases in Indonesia at the National Level', *Journal of Tropical Medicine*, 2016, Article ID 4852117. Available at: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4852117/> (Accessed: 7 September 2025).
- Wibowo, H., & Prasetyo, A. (2022). Analisis spasial distribusi kasus kusta di Indonesia tahun 2019–2021. *Jurnal Biostatistik dan Kependudukan*, 10(2), 77–88.
- Wijayaningsih, K. S. (2017). Asuhan Keperawatan Anak. TIM World Health Organization.
- Wilder-Smith, A., Ooi, E.E., Horstick, O. & Wills, B. (2019) 'Dengue', *The Lancet*, 393(10169), pp. 350-363.
- Wilder-Smith, A., et al. (2018) 'Zoonotic transmission of dengue virus in the forest canopy', *Journal of Virology*, 92(22), pp. e00678-18.
- World Bank (2021) Climate Risk Profile: Indonesia. The World Bank Group. Available at: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/sites/default/files/202>

1-08/15848-WB_Indonesia%20Country%20Profile-WEB.pdf
(Accessed: 15 October 2023).

World Health Organization (2022) Global report on neglected tropical diseases 2022. Geneva: World Health Organization. Available at: <https://www.who.int/teams/control-of-neglected-tropical-diseases/global-report-on-neglected-tropical-diseases-2022> (Accessed: 15 October 2023).

World Health Organization (2022) World malaria report 2022. Geneva: World Health Organization. Available at: <https://www.who.int/teams/global-malaria-programme/reports/world-malaria-report-2022> (Accessed: 15 October 2023).

World Health Organization (WHO). (2020). Zoonoses. WHO. Diakses pada 5 September 2025, dari <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/zoonoses>.

World Health Organization (WHO). (2024). Rabies. WHO. Diakses pada 5 September 2025, dari <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/rabies>.

World Health Organization (WHO). (2025). Rabies in the South-East Asia Region. WHO. Diakses pada 6 September, dari <https://www.who.int/southeastasia/health-topics/rabies>.

World Health Organization. (2021). Global leprosy (Hansen's disease) update, 2020: time to step-up prevention initiatives. *Weekly Epidemiological Record*, 96(36), 421–444.

World Health Organization. (2024, Oktober). Global TB Report 2024. Kompas.id. Kompas+1

World Health Organization. (2024). Turning The Tide: Protecting Coastal Communities From Infectious Diseases. WHO. Diakses pada 9 September 2025, dari <https://www.who.int/indonesia/news/feature->

stories/detail/turning-the-tide--protecting-coastal-communities-from-infectious-diseases.

- World Health Organization. (n.d.). Strengthening TB surveillance to accelerate Indonesia's path to elimination. WHO Indonesia, 1 Juli 2025. Organisasi Kesehatan Dunia
- World Organisation for Animal Health (WOAH). (2023). Classical Rabies Virus. WOAH Terrestrial Manual. WHO. Diakses pada 7 September 2025, dari https://www.woah.org/fileadmin/Home/fr/Health_standards/tahm/3.01.18_RABIES.pdf.
- Wulandari, R., et al. (2024) 'Water pollution and sanitation in Indonesia: a review on public health implications', PubMed Central. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39623134/> (Accessed: 7 September 2025).
- Zhang, L. (2024) 'Temperature and humidity as drivers for the transmission of vector-borne diseases', Atmospheric Research, 264, 105875. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/aro2.75> (Accessed: 7 September 2025).
- Zimmermann, M., Hagedorn, B., Herbert, M. & Excler, J.L. (2020) 'The critical role of supply chains in advancing global health', International Journal of Logistics Management, 31(3), pp. 617-643.
- Zinsstag, J., et al. (2020) 'One Health: From concepts to practice', Frontiers in Veterinary Science, 7, 281.

Biodata Penulis



Nurbaiti, S.K.M., M.K.M. lahir di Walando pada tanggal 15 Agustus 2000. Ia menyelesaikan studi Magister Ilmu Kesehatan Masyarakat dengan peminatan Epidemiologi di Universitas Hasanuddin pada tahun 2024, dengan topik tesis mengenai “Analysing The Role of Lifestyle Factors on Hypertension Among Rural Indonesian Adults: A Case-Control Study. Sebelumnya mengikuti Pendidikan Program S1 di Universitas Haluoleo tahun 2022 . Ia adalah dosen tetap Program Studi Manajemen Informasi Kesehatan.

Dalam kegiatan akademik, ia mengampu beberapa mata kuliah, antara lain Ilmu Kesehatan Masyarakat, Epidemiologi, Perencanaan Strategis di Unit Kerja Rekam Medis, Audit Rekam Medis, Analisis dan perencanaan sistem informasi kesehatan, Manajemen Rekam Medis Hybrid, Supervisi dan Monitoring, serta Matematika Diskrit. Selain mengajar, ia juga aktif membimbing mahasiswa dalam kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di rumah sakit maupun puskesmas, serta dalam pelaksanaan Kuliah Kerja Nyata (KKN). Di luar kegiatan mengajar, Nurbaiti terlibat aktif dalam penulisan dan pengembangan literatur akademik.

Selain itu, Nurbaiti juga aktif menulis di bidang kesehatan. Ia telah menerbitkan satu buku referensi yang ditulis sendiri, berjudul ”Dasar Rekam Medis dan Epidemiologi: Pengantar bagi Mahasiswa RMIK”, yang diterbitkan oleh Idebuku.id pada tahun 2025. Karya ini menjadi salah satu kontribusinya dalam pengembangan literatur kesehatan masyarakat dan epidemiologi di Indonesia.

E-mail: nurbaitimkm3@gmail.com



Samuel Hadjo baru saja menyelesaikan pendidikan pada Program Doctor of Philosophy (PhD) pada bidang Applied Epidemiology dengan topik disertasi Perinatal Mortality di Asia Tenggara dari Newcastle University, United Kingdom. Sebelumnya menyelesaikan program studi sarjana Biologi dari Universitas Advent Indonesia, Bandung dan Master of Public Health dari Adventist International Institute of Advanced Studies, Phillipines. Saat ini bekerja sebagai dosen tetap pada Fakultas Keperawatan, Universitas Klabat. Mengampu matakuliah Biomedic Dasar, Keperawatan Dasar, Nutrition, Community Health Nursing, Nutrition Science, Research Methodology, Biostatistics dan Data Analysis.

Sat ini aktif menjadi anggota Ikatan Kesehatan Masyarakat Indonesia (IAKMI) Society of Social Medicine (SSM), United Kingdom, dan The European Public Health Association (EUPHA), serta berpartisipasi dalam berbagai konferensi ilmiah baik nasional maupun internasional.

Email: shadjo@unklab.ac.id



dr. Nancy L. Sampouw, M.Kes. Lulusan Sarjana (S1) Kedokteran dan Profesi Dokter dari Fakultas Kedokteran Universitas Sam Ratulangi Manado Sulawesi Utara. Lulusan Magister (S2) Kesehatan Masyarakat dari Program Pascasarjana Universitas Sam Ratulangi Manado Sulawesi Utara. Saat ini sedang melanjutkan pendidikan Program Doktor (S3) di Pascasarjana Universitas Negeri Manado.

Bertugas sebagai Kepala Klinik Departemen di Universitas Klabat dan dosen di Fakultas Keperawatan Universitas Klabat Airmadidi Minahasa Utara Sulawesi Utara. Sebagai akademisi penulis aktif dalam melaksanakan tridarma perguruan tinggi, yaitu melakukan kegiatan pendidikan (pengajaran), penelitian dan pengabdian kepada masyarakat. Telah menulis puluhan buku dengan Penerbit Yayasan Kita Menulis, Penerbit PT. Kamiya Jaya Aquatic, dan Penerbit Unima Press.

E-mail: nancy.sampouw@unklab.ac.id



Penulis dilahirkan di Bone-Bone, Kota Baubau, Sulawesi Tenggara pada tanggal 28 Juni 1990. Ketertarikan penulis terhadap ilmu epidemiologi dimulai pada tahun 2008 silam. Hal tersebut membuat penulis memilih untuk kuliah Fakultas Kesehatan Masyarakat di Universitas Halu Oleo dengan memilih peminatan Epidemiologi dan berhasil lulus pada tahun 2012. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan magister epide

miologi di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin Makassar dan berhasil menyelesaikan studi S2 pada tahun 2021. Sebelumnya penulis bekerja di Fakultas Kesehatan Universitas Dayanu Ikhsanuddin Baubau sebagai dosen dan pernah menjabat sebagai Ketua Unit Penjamin Mutu Program Studi Gizi Fakultas Kesehatan Universitas Dayanu Ikhsanuddin Baubau. Saat ini penulis bekerja sebagai Epidemiolog Kesehatan di Rumah Sakit Jantung Oputa Yi Koo. Selain itu penulis juga aktif dalam menulis jurnal serta aktif menulis book chapter.

E-mail: waode.nadziyran.urufia286@gmail.com



Lahir di Bukittinggi Sumatera Barat. Telah menyelesaikan Program sarjana keperawatan di Universitas Padjadjaran. Selanjutnya menyelesaikan program Magister Keperawatan di Universitas Indonesai dan Program Doktor di Universitas Padjadjaran. Saat ini bergabung menjadi dosen di Universitas Pendidikan Indonesia Bandung. Aktif dalam kepenulisan buku dan jurnal nasional juga Internasional Serta terlibat sebagai reviewer di jurnal Nasional dan Internasional.



Yunis Veronika Purba, S.Kp., M.Kep., merupakan Dosen pengajar lahir di Surakarta, pada 13 Juni 1981. Jenjang akademik penulis, pertama dimulai dengan menempuh Program Sarjana Keperawatan di Universitas Advent Indonesia (UNAI) Bandung dan lulus tahun 2003. Penulis melanjutkan studinya tahun 2015 Program Magister di Universitas Diponegoro (UNDIP) Semarang Jawa Tengah.

Pengalaman di dunia profesional, penulis mulai dengan menjadi dosen di Universitas Advent Surya Nusantara Program Sudi D3 Keperawatan Pematangsiantar tahun 2006. Pada Tahun 2007 penulis telah memiliki Jabatan Fungsional Asisten Ahli (AA) dan Jabatan fungsional sebagai Lektor tahun 2013 . Penulis dipercayakan sebagai Kepala Program Studi Keperawatan pada tahun 2020-sekarang. Sebagai Dosen profesional, penulis aktif mengikuti seminar-seminar dan workshop Nasional dan Internasional, dan aktif melakukan pengabdian kepada masyarakat.

E-mail: yunispurba@gmail.com



dr. Lestari Rahmah, MKT lahir pada bulan Juni 1971 di Medan, Sumatera Utara. Setelah menyelesaikan pendidikan dokter tahun 1997 dari Fakultas Kedokteran Universitas Islam Sumatera Utara (FK UISU), penulis menjalani program dokter PTT selama 3 tahun dan menjadi Aparatur Sipil Negara sejak tahun 2002 yang bertugas di Dinas Kesehatan Labuhan Batu. Kemudian tahun 2006 penulis bergabung di Kementerian Kesehatan yaitu mengabdikan diri pada Poltekkes Kemenkes Medan. Sejak tahun 2015 sampai saat ditugaskan sebagai kepala Instalasi Klinik Pratama Poltekkes Kemenkes disamping itu juga sebagai dosen tetap di Jurusan Teknologi Laboratorium Medis di Poltekkes Medan yang mengampu mata kuliah Patofisiologi dan Virologi. Tahun 2020 penulis juga mendapatkan gelar Dokter Spesialis Kedokteran Keluarga Layanan Primer (Sp.KKLP). Penulis terlibat aktif dalam kegiatan-kegiatan pengabdian masyarakat, terutama dalam bakti sosial pengobatan gratis dan donor darah. Selama bertugas penulis sering mengikuti

seminar, workshop serta pendidikan dan pelatihan baik sebagai peserta maupun pembicara.

E-mail: aialialia7071@gmail.com



Dwi Susanti. Lahir di Rama Indra (Lampung Tengah) pada 05 Mei 1990. Lulus S1 Pendidikan Biologi di Universitas Lampung pada tahun 2012 dan S2 Biologi di Universitas Gadjah Mada pada tahun 2016. Penulis saat ini berprofesi sebagai dosen dan peneliti di Program Studi Teknik Biomedis Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sumatera.

Penulis berpengalaman bekerja sebagai akademisi yaitu dosen dan peneliti di Program Studi Farmasi Universitas Malahayati (2022-2025), Wakil Ketua STIE Al-Madani dan Guru SMA Global Madani (Yayasan Pendidikan Global Madani) tahun 2013-2022. Penulis aktif melaksanakan kegiatan penelitian dan publikasi dengan bidang fokus Genetika, Biologi Sel dan Molekuler, Antimikroba, Bahan Alam, serta kegiatan pengabdian kepada masyarakat. Penulis telah menghasilkan karya buku berjudul Mikrobiologi Farmasi, Dasar-Dasar Genetika. Penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi profesi Perhimpunan Biologi Indonesia.

E-mail: dwi.susanti@bm.itera.ac.id, dwisusanti.dwisus@gmail.com



Farida Murtiani, merupakan ASN di RSPI Prof Dr Sulianti Saroso. Menyelesaikan pendidikan D3 Hiperkes dan Keselamatan Kerja Universitas Sebelas Maret Surakarta, S1 Kesehatan Masyarakat Universitas Jenderal A. Yani Cimahi, S2 Statistika Terapan Universitas Padjajaran dan saat ini melanjutkan S3 pada Program Studi Doktor Epidemiologi Universitas Indonesia.

Disela-sela tugasnya sebagai ASN, penulis aktif dalam penelitian baik clinical research maupun clinical trial. Penulis juga aktif menulis artikel ilmiah

yang telah terpublikasi nasional dan internasional. Telah menulis beberapa buku referensi terkait metodologi penelitian, epidemiologi dan biostatistika.

E-mail: idoel_fh@yahoo.com.

Epidemiologi Penyakit Tropis di Indonesia

Indonesia sebagai negara beriklim tropis memiliki kerentanan tinggi terhadap berbagai penyakit menular, seperti malaria, demam berdarah dengue, tuberkulosis, kusta, serta zoonosis tropis. Faktor iklim, lingkungan, kondisi sosial-ekonomi, hingga perubahan perilaku masyarakat berperan besar dalam dinamika penyebaran penyakit tersebut. Oleh karena itu, kajian epidemiologi menjadi sangat penting untuk memahami hubungan antara host, agent, dan environment, sekaligus merancang strategi pengendalian berbasis bukti ilmiah.

Buku ini membahas:

- Bab 1 Pengantar Epidemiologi Penyakit Tropis
- Bab 2 Konsep Dasar Epidemiologi: Host, Agent and Environment
- Bab 3 Penyakit Tropis di Indonesia: Profil Umum
- Bab 4 Metode Pengukuran Morbiditas dan Mortalitas
- Bab 5 Penyakit Tropis: Malaria (Epidemiologi dan Pencegahan)
- Bab 6 Penyakit Tropis: Demam Berdarah Dengue (DBD)
- Bab 7 Epidemiologi Tuberkulosis dan Kusta
- Bab 8 Penyakit Zoonosis Tropis (Rabies, Leptospirosis)
- Bab 9 Pemanfaatan GIS dan Teknologi untuk Mapping Penyakit



YAYASAN KITA MENULIS
press@kitamenulis.id
www.kitamenulis.id

ISBN 978-634-260-016-4



9

786342

600184