

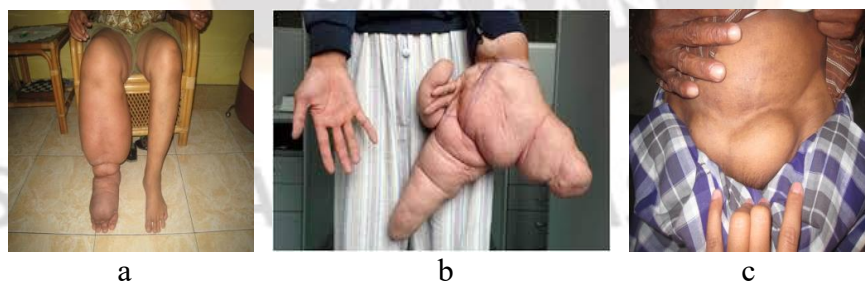
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Filariasis

1. Pengertian

Filariasis, dikenal sebagai kaki gajah, adalah penyakit yang disebabkan oleh infeksi parasit yang tergolong nematoda (cacing gelang) dari famili *Filariodidea* yang ditularkan melalui gigitan nyamuk yang terinfeksi. Larva cacing *filaria* dimasukkan nyamuk ke tubuh manusia maupun hewan dengan dilepaskan melalui gigitan/tusukan *probocis* di lapisan kulit. Larva cacing *filaria* kemudian bermigrasi ke pembuluh limfa di mana mereka berkembang menjadi cacing *filaria* dewasa. Cacing *filaria* dewasa akan bertambah ukurannya sehingga lama kelamaan akan menyumbat saluran limfa hingga timbullah pembengkakan pada bagian-bagian tubuh, seperti kaki, lengan, payudara, serta alat kelamin. Pembengkakan yang tidak segera ditangani medis dan berlangsung lama akan terus membesar dan mengakibatkan kecacatan permanen (Lourens & Ferrell, 2019; WHO, 2021a).



Gambar 2.1. Penderita filariasis yang mengalami perbesaran pada (a) kaki, (b) tangan, dan (c) buah zakar

(Sumber: Siwiendrayanti *et al.*, 2016)

2. Tanda dan Gejala

Infeksi filariasis bersifat kondisi asimtomatik, akut, dan kronis. Sebagian besar infeksi tidak menunjukkan gejala, tidak menunjukkan tanda-tanda eksternal infeksi namun tetap berkontribusi terhadap penularan parasit. Meskipun infeksi berlangsung tanpa gejala namun sebenarnya berlangsung kerusakan pada sistem limfa dan ginjal serta mengubah sistem kekebalan tubuh. Filariasis yang berkembang menjadi kondisi kronis menyebabkan limfedema (pembengkakan jaringan) dan atau penebalan kulit/jaringan anggota badan dan hidrokel (pembengkakan skrotum). Dapat juga terjadi pada payudara dan organ genital (Lourens & Ferrell, 2019; WHO, 2021a).

3. Diagnosis

Metode standar mendiagnosis infeksi aktif sejauh ini ada 3 (tiga) cara, yaitu:

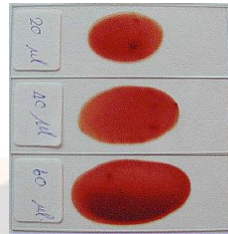
a. Riwayat paparan

Riwayat tinggal/berkunjung dapat dijadikan acuan. Pasien dengan pembengkakan pada tangan, kaki, buah zakar; dapat diduga mengidap filariasis jika memiliki riwayat tinggal atau berkunjung dalam waktu lama di wilayah endemis filariasis (Hills-Evan & Smith, 2008).

b. Identifikasi mikrofilaria dalam apusan darah dengan pemeriksaan mikroskopis.

Mikrofilaria bersirkulasi dalam darah pada malam hari. Pengambilan darah harus dilakukan pada malam hari saat munculnya mikrofilaria, dan apusan tebal harus dibuat dan diwarnai dengan Giemsa atau hematoxylin dan eosin yang kemudian diamati dengan mikroskop. Seorang pasien dapat dipastikan terinfeksi

cacing filaria jika ditemukan mikrofilaria dalam darahnya (CDC, 2018; Hills-Evan & Smith, 2008).



Gambar 2.2. Blood Film Test
Sumber: Hills-Evan & Smith, 2008

c. Deteksi antibodi

Teknik serologi memberikan alternatif untuk deteksi mikroskopis mikrofilaria untuk diagnosis filariasis limfatik. Pasien dengan infeksi filaria aktif biasanya memiliki peningkatan kadar IgG4 antifilaria dalam darah dan ini dapat dideteksi (Hills-Evan & Smith, 2008).

d. Deteksi antigen

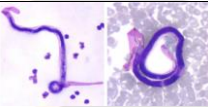
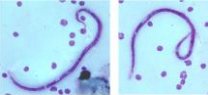
Deteksi antigen menggunakan immunoassay untuk antigen filaria yang bersirkulasi sensitivitasnya lebih baik sehingga dapat mendeteksi mikrofilaria yang rendah dan bervariasi. Metode antigen filaria dapat mendeteksi dalam sampel darah yang dikumpulkan setiap saat sepanjang hari (tidak harus malam hari) (CDC, 2019).

4. Penyebab (*Agent*) Filariasis

Penyakit filariasis disebabkan oleh parasit berupa cacing filaria *Wuchereria bancrofti*, *Brugia malayi* dan *Brugia timori*. Ketiganya merupakan cacing gelang parasit (nematoda) dari superfamili *Filarioidea*, famili *Onchocercidae*. Cacing ini menjadi parasit pada jaringan dan ruang-ruang jaringan semua kelas vertebrata kecuali ikan. Cacing filaria berbentuk memanjang dan ramping dengan bentuk larva

husus yang disebut mikrofilaria. Mikrofilaria bermigrasi ke pembuluh darah perifer atau kulit sehingga memungkinkan untuk diakses vektor arthropoda pemakan darah seperti nyamuk. Nyamuk ini menjadi inang perantara bagi parasit untuk berkembang dari mikrofilaria ke tahap ketiga atau larva infeksi (disingkat “L3”) yang menular ke vertebrata. Tiga spesies filaria yang ditransmisikan nyamuk yang menyebabkan filariasis limfatik adalah *Wuchereria bancrofti* menyebabkan Filariasis Bancrofti; *Brugia malayi* menyebabkan Filariasis Brugia; dan *Brugia timori* menyebabkan Filariasis Timor (CDC, 2019).

Tabel 2.1. Agen Filariasis

Organisme	Morfologi	Periodicity	Distribusi	Vektor utama
<i>Wuchereria bancrofti</i>		- Nocturnal periodic - Nocturnal sub-periodic - Diurnal sub-periodic	Seluruh dunia Asia Tenggara Polinesia	<i>Anopheles</i> , <i>Culex</i> <i>Aedes</i> <i>Aedes</i>
<i>Brugia malayi</i>		- Nocturnal periodic - Nocturnal sub-periodic - Diurnal sub-periodic	India, Indonesia, Asia Tenggara Indonesia, Asia Tenggara Thailand	<i>Anopheles</i> , <i>Mansonia</i> <i>Mansonia</i> <i>Mansonia</i>
<i>Brugia timori</i>		Nocturnal periodic	Alor, Flores, Indonesia, Roti, Timor	<i>Anopheles</i>

5. Vektor Penular Filariasis

Vektor penular filariasis yang telah diketahui adalah dari subfamili *Anophelines* dan *Culicines*. Dari subfamili *Anophelines*, genus *Anopheles*-lah yang diketahui berperan sebagai vektor penular filariasis. Sedangkan dari subfamili *Culicines* terdapat genus *Aedes*, *Culex*, dan *Mansonia* yang telah diketahui banyak berperan dalam penularan filariasis (CDC, 2019). *Culex quinquefasciatus* merupakan vektor penular utama filariasis di Pulau Jawa, Indonesia. *Culex*

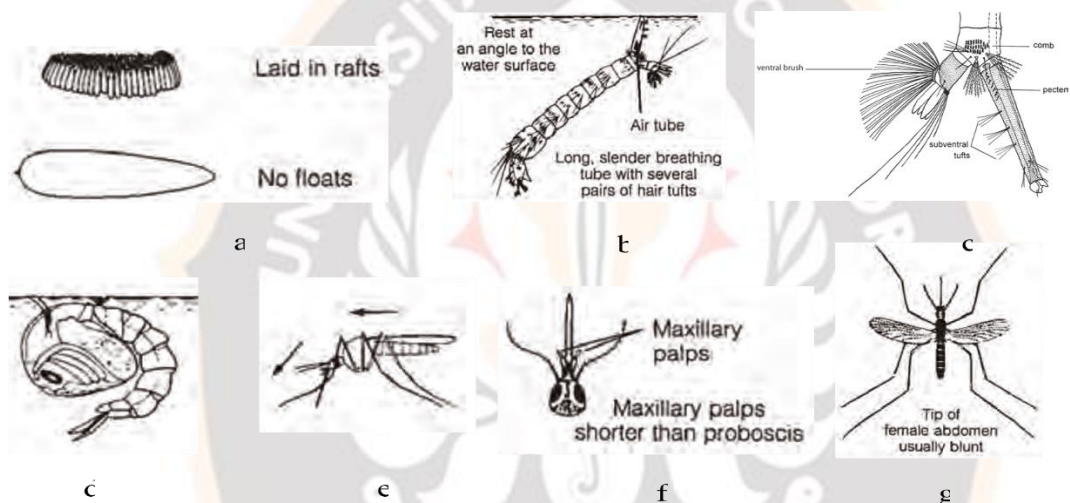
quinquefasciatus terutama menularkan infeksi mikrofilaria *Wuchereria bancrofti* (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 94 Tahun 2014).

6. *Culex* sp.

Culex ditemukan di seluruh dunia, kecuali di bagian utara ekstim dari zona beriklim sedang. Telur biasanya berwarna coklat, panjang dan silindris, diletakkan tegak di permukaan air dan ditempatkan berkelompok untuk membentuk rakit telur yang dapat terdiri dari sekitar 300 telur. Perlekatan antar-telur terjadi karena adanya adhesi. *Siphon* larva umumnya panjang dan sempit. Selalu ada lebih dari satu pasang jumbai subventral rambut di *siphon*, tidak ada yang dekat dasar. Umumnya toraks, tungkai dan urat sayap nyamuk *Culex* dewasa ditutupi dengan sisik berwarna kusam, seringkali coklat. Perut sering ditutupi dengan sisik coklat atau kehitaman, tetapi beberapa sisik keputihan dapat ditemukan pada sebagian besar segmen. Ujung perut betina berbentuk tumpul. Cakar pada semua tarsi sederhana dan cakar pada tarsi belakang sangat kecil. Pemeriksaan di bawah mikroskop menunjukkan bahwa semua tarsi memiliki sepasang pulvili kecil berdaging (WHO, 2013b).

Telur diletakkan di berbagai habitat perairan. Habitat larva sebagian besar spesies *Culex* adalah genangan air tanah seperti kolam, genangan air, parit, lubang berair dan sawah. Beberapa spesies bertelur di habitat wadah buatan manusia seperti kaleng, wadah air, botol dan tangki penyimpanan air. Hanya beberapa spesies yang ditemukan di lubang pohon dan bahkan lebih sedikit di ketiak daun. Larva dari spesies yang paling penting secara medis, *Culex quinquefasciatus*, yang merupakan vektor filariasis *bancroftian*, hidup di perairan yang tercemar oleh

sampah organik seperti vegetasi yang membusuk, sampah rumah tangga dan kotoran. Larva juga biasa ditemukan di saluran dan parit yang tersumbat sebagian, sumur resapan dan tangki septik. *Culex quinquefasciatus* adalah nyamuk yang terkait dengan urbanisasi, terutama kota-kota dengan drainase dan sanitasi yang buruk dan tidak memadai (WHO, 2013b).



Gambar 2.3. *Culex*: telur (a), larva (b, c), pupa (d), dewasa (e, f, g)

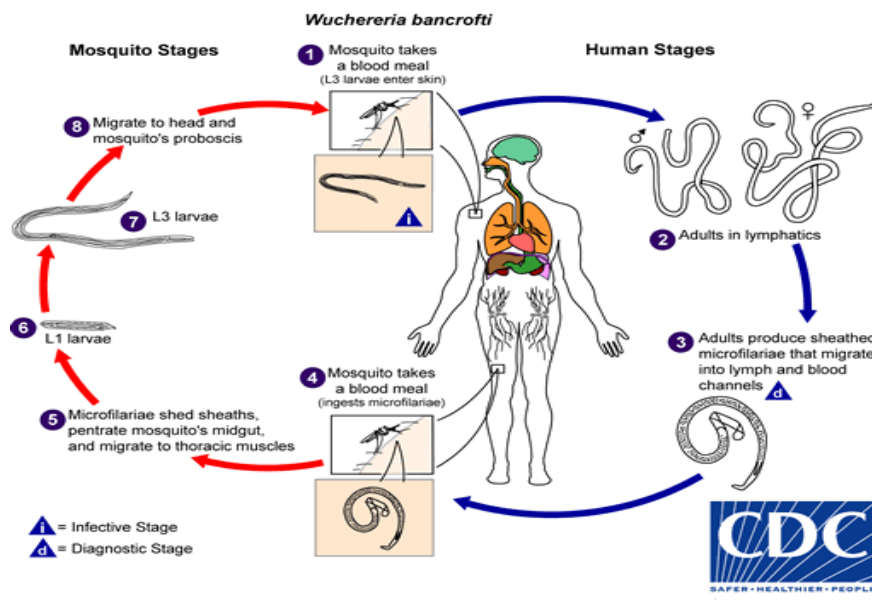
Sumber: WHO (2013b)

Populasi *Culex* populasinya meningkat pesat. *Culex* sp. menggigit di malam hari. Beberapa spesies, seperti *Cx. quinquefasciatus*, umumnya beristirahat di dalam ruangan baik sebelum dan sesudah makan, tetapi mereka juga berlindung di tempat istirahat di luar ruangan (WHO, 2013b).

Radius terbang *Culex* tidak sejauh *Anopheles*. WHO (2013b) menyebutkan radius terbang *Culex* kurang dari 200 m. Namun Verdonschot dan Besse-lototskaya (2014) menyebutkan bahwa rata-rata radius terbang *Culex* adalah 400-850 m. Khusus *Cx annulirostris* terbang sejauh 6.220 m.

7. Transmisi / Penularan Filariasis

Siklus transmisi/penularan filariasis secara umum pada tahapan nyamuk dan tahapan manusia dipaparkan pada Gambar 2.4.

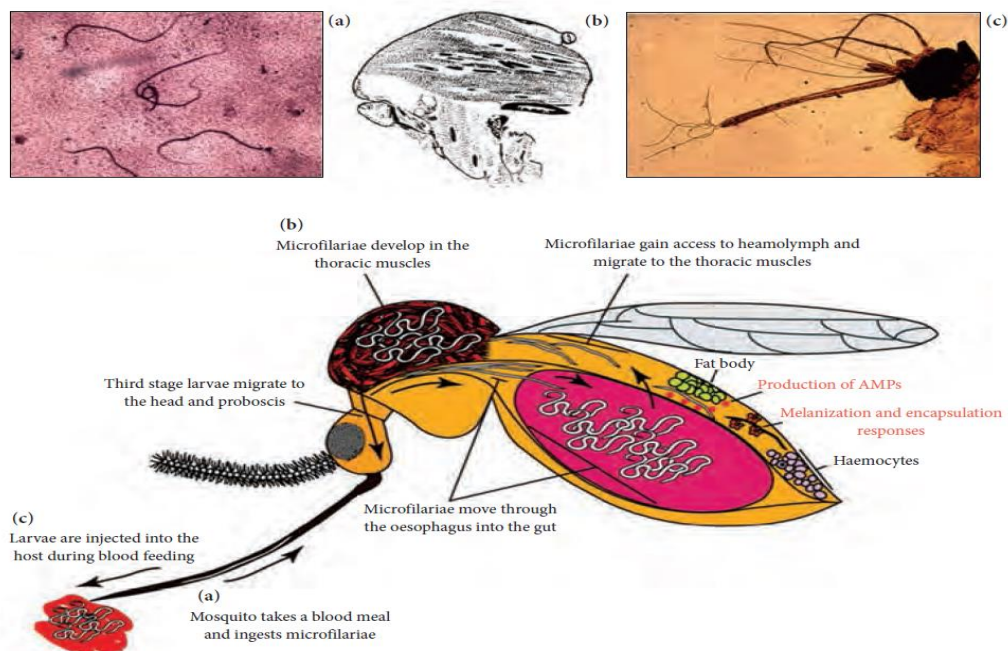


Gambar 2.4. Siklus transmisi filariasis

Sumber: CDC (2019)

Gambar 2.4 menunjukkan tahap infeksi pada gambar dengan kode 1 dimana larva mikrofilaria L3 (infeksi) masuk ke tubuh manusia bersama dengan gigitan nyamuk saat sedang menghisap darah manusia tersebut. Selanjutnya pada tahapan manusia, larva mikrofilaria berkembang menjadi cacing filaria dewasa dalam sistem kelenjar limfe (kode 2 pada gambar) hingga akhirnya berkembangbiak menghasilkan mikrofilaria berselubung yang mampu bermigrasi ke pembuluh limfe dan pembuluh darah (kode 3 pada gambar). Keberadaan mikrofilaria dalam darah sudah dapat digunakan untuk diagnosa filariasis walaupun belum terjadi pembengkakan pada area tubuh manapun. Pembesaran pada bagian tubuh tertentu seperti kaki, tangan, buah zakar, payudara, dan lain-lain baru akan terjadi setelah

mikrofilaria semakin banyak dan menyumbat pembuluh limfe dan pembuluh darah. Tahapan pada tubuh nyamuk diawali dengan gambar kode 4 dimana nyamuk menghisap darah manusia sekaligus menghisap pula mikrofilaria yang semula ada pada tubuh manusia tersebut. Selanjutnya ditunjukkan dengan kode 5 dimana mikrofilaria berselubung tersebut menembus usus tengah nyamuk, menuju hemolymph, dan bermigrasi ke otot torak. Selanjutnya mikrofilaria terus tumbuh menjadi larva L1 (gambar kode 6) dan terus berlanjut hingga menjadi larva L3 (gambar kode 7). Gambar kode 8 menunjukkan larva L3 yang kemudian bermigrasi ke bagian kepala nyamuk hingga ke proboscis (“mulut” nyamuk yang menyerupai jarum) yang akhirnya larva L3 ini ikut masuk ke dalam tubuh manusia saat nyamuk menusukkan proboscisnya untuk menghisap darah manusia (kembali ke gambar kode 1).



Gambar 2.5. Perkembangan dan tahapan hidup cacing filaria dalam tubuh nyamuk

Sumber: WHO (2013a)

an Gambar 2.4 kode 1.

apun penggambaran siklus transmisi kepada manusia deng

an perkembangan cacing filaria pada tubuh nyamuk dapat dilihat pa

6. Gambar 2.6 menunjukkan pula gigitan nyamuk yang infeksi

The diagram illustrates the life cycle of the Leishmania parasite (LF) and the role of the infectious mosquito. It shows the progression from a bite by a mosquito to the development of the parasite in the host. Key stages include:

- Initial Bite:** A mosquito bites a human (silhouette of a woman and a child).
- Parasite Development:** The parasite develops in the host, shown by silhouettes of a woman and a child. The parasite is labeled **Mf** (metastasis) and **L4** (larva).
- Parasite Stages:** The parasite develops through stages **L1**, **L2**, and **L3** in the mosquito.
- Infectious Mosquito:** A shaded box labeled **Infectious mosquito** indicates the stage where the mosquito is capable of transmitting the parasite.
- Gonotrophic cycles:** Circular arrows at the top represent the **Gonotrophic cycles**.
- LF larval development:** A red arrow indicates **LF larval development from L1 to L3 (10-12 Days)**.

Legend:

- >** A bite by the mosquito without infection
- Journey of a LF parasite

Sumber: WHO (2013a)

8. Survei Darah Jari (*Finger Blood Survey*)

Survei darah jari merupakan metode penemuan penderita filariasis dengan melakukan pemeriksaan apusan darah untuk mengetahui ada-tidaknya mikrofilaria. Survei darah jari bertujuan untuk menentukan angka mikrofilaria (*Microfilaria rate/Mf-rate*) yang nantinya menjadi dasar penentuan endemisitas filariasis suatu daerah. Survei ini dilakukan jika di suatu kabupaten/kota ditemukan penderita filariasis kronis atau secara epidemiologi berisiko terjadi penularan filariasis (keberadaan vektor, kondisi lingkungan dan berdekatan dengan daerah endemis). Penentuan lokasi survei ditetapkan dua desa di kabupaten/kota yang mempunyai penderita filariasis kronis terbanyak. Adapun pada kabupaten/kota tanpa penderita filariasis dilakukan survei darah jari pada desa yang berisiko. Sampel diambil di setiap desa lokasi survei minimal 300 orang, dengan sasaran umur ≥ 13 tahun. Spesimen darah jari sebanyak 60 μL (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 94 Tahun 2014).

8. *Microfilaria Rate (Mf-rate)*

Mf-rate atau *Microfilaria rate* adalah prosentase jumlah sampel apusan darah yang positif mengandung mikrofilaria dari keseluruhan sampel darah penduduk yang diperiksa saat pelaksanaan Survei Darah Jari (SDJ). Penentuan *Mf-rate* dilakukan dengan melakukan Survei Darah Jari di malam hari setelah jam 22.00 pada minimal 300 orang sampel penduduk (WHO, 2013a).

$$Mf\ rate = \frac{\text{jumlah sampel darah positif mikrofilaria}}{\text{jumlah sampel darah keseluruhan}} \times 100\%$$

9. *Infection Rate* dan *Infective Rate*

Infection rate dan *infective rate* digunakan untuk mendapatkan gambaran besarnya transmisi filariasis dari aspek vektor penularnya yaitu nyamuk. *Infection Rate* adalah prosentase jumlah nyamuk yang terinfeksi oleh larva filaria pada tahap yang manapun. Adapun *Infective Rate* adalah prosentase jumlah nyamuk yang terinfeksi oleh larva filaria tahap L3. (WHO, 2013a)

Metode untuk menentukan infeksi nyamuk dan tingkat infeksi adalah pembedahan (*dissection*) pada nyamuk yang baru ditangkap atau dapat juga mendeteksi dengan analisis reaksi berantai polimerase (PCR) pada nyamuk kering. Metode PCR mungkin lebih sensitif tetapi dapat mendeteksi semua stadium cacing, termasuk mikrofilaria. Pembedahan harus dilakukan pada nyamuk secara individu, sedangkan analisis PCR dapat dilakukan pada sekumpulan banyak nyamuk (WHO, 2013a).

10. Wilayah Endemis Filariasis

Wilayah dengan Mf-rate $>1\%$ dinyatakan sebagai wilayah endemis filariasis. Kota dan kabupaten dengan Mf-rate $>1\%$ wajib melaksanakan POPM Filariasis (Pemberian Obat Pencegahan Massal Filariasis) dengan dosis minum 1 kali dalam setahun selama 5 tahun berturut-turut. Evaluasi akan dilakukan pasca pelaksanaan POPM Filariasis 5 tahun (WHO, 2013a).

11. Pemberian Obat Massal Pencegahan (POPM) Filariasis (*Mass Drug Administration/MDA*)

Eliminasi filariasis melalui POPM atau Pemberian Obat Pencegah Massal Filariasis adalah pemberian obat kepada semua penduduk di daerah endemis

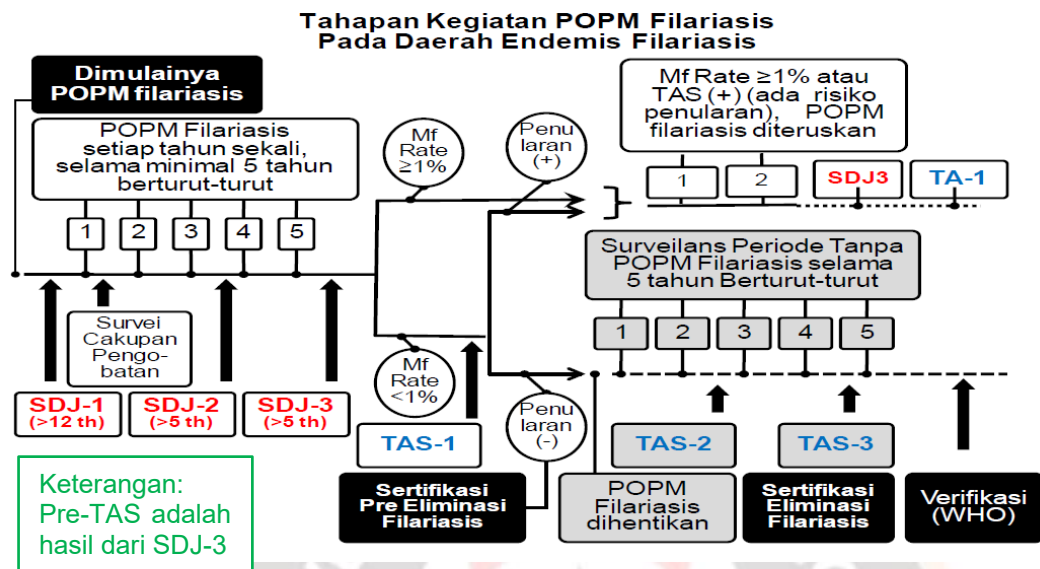
filariasis (Mf-rate >1%) dengan *piperazine diethylcarbamazine* (DEC), *albendazole*, *ivermectin* dan parasetamol (atau yang direkomendasikan oleh WHO berdasar hasil kajian terbaru) sesuai takaran, setiap tahun sekali minimal selama 5 tahun berturut – turut, yang bertujuan untuk menghilangkan sumber penularan dan memutuskan mata rantai penularan filariasis di daerah ini. Pemberian dilakukan secara “*blanket approach*” dimana semua orang di wilayah tersebut diberikan obat tersebut tanpa dilakukan pemeriksaan apakah seseorang menderita filariasis atau tidak (WHO, 2013a). POPM ditunda bagi anak usia <2 tahun, ibu hamil dan menyusui, orang sedang sakit berat, orang dengan penyakit kronis, orang dengan gangguan hati gangguan ginjal, epilepsi, penyakit jantung dan pembuluh darah, penderita kasus kronis filariasis sedang dalam serangan akut, dan penderita gizi buruk (merasmus atau kwasiorkor) (Siwiendrayanti et al., 2016; WHO, 2013a).

Pemberian POPM ini mengalami penolakan oleh sebagian masyarakat, diantaranya dikarenakan adanya kejadian ikutan pasca pengobatan massal. Efek yang tidak diharapkan pada POPM filariasis terdiri dari 2 kelompok efek yang sangat berbeda penyebabnya. Pertama adalah efek samping obat diakibatkan oleh reaksi tubuh manusia terhadap obat (efek farmakologi). Efek ini berupa efek akibat interaksi obat, intoleransi (ketidakcocokan dengan obat), idiosinkrasi (kelainan respon individu akibat faktor genetik terhadap obat tertentu yang umumnya tidak dialami oleh individu lain), reaksi alergi obat (kelainan respon individu akibat faktor paparan terhadap obat tertentu yang umumnya tidak dialami oleh individu lain). Kedua adalah kejadian ikutan pasca pengobatan yang berupa reaksi tubuh terhadap hasil kerja pengobatan. Obat akan membunuh makrofilaria dan

mikrofilaria di dalam tubuh manusia. Makrofilaria dan mikrofilaria yang mati akan dianggap sebagai benda asing bagi tubuh sehingga tubuh memberikan respon untuk melawan benda asing tersebut yang dampaknya tubuh manusia akan merasakan demam, sakit kepala, pusing, mual, dan lain-lain. Untuk meringankan dampak tersebut umumnya POPM sekaligus disertai dengan obat anti nyeri seperti paracetamol (WHO, 2013a).

12. Pre-TAS dan TAS (*Transmission Assessment Survey*)

Pemberian obat pencegahan massal (POPM) diperlukan untuk mengurangi infeksi di masyarakat dengan cara mematikan mikrofilaria di dalam tubuh manusia sehingga nyamuk tidak dapat terus menyebarkan parasit cacing filaria dari orang ke orang. WHO menggunakan *Transmission Assessment Survey* (TAS) sebagai alat pengawasan apakah infeksi pada suatu wilayah telah berkurang di bawah ambang target (Mf-rate <1%) ketika POPM telah dihentikan. Diawali dengan pelaksanaan Pre-TAS setelah periode POPM 5 tahun. Suatu wilayah dinyatakan lulus Pre-TAS jika pada Pre-TAS diperoleh Mf-rate <1%. Apabila suatu wilayah lulus Pre-TAS, POPM akan dihentikan dan kemudian akan dilakukan TAS-1, TAS-2, dan TAS-3 yang masing-masing berjarak 2 tahun. Apabila suatu wilayah tidak lulus Pre-TAS maka wilayah tersebut harus mengulang pelaksanaan POPM hingga mencapai Mf-rate <1% untuk kemudian dapat melanjutkan ke TAS-1, TAS-2, dan TAS-3. Suatu wilayah akan memperoleh sertifikat eliminasi filariasis apabila TAS-3 memperoleh hasil Mf-rate <1%. Selanjutnya hasil tersebut akan diverifikasi lanjut oleh WHO (WHO, 2023)



Gambar 2.7. Tahapan Kegiatan POPM Filariasis

Sumber: Kementerian Kesehatan RI (2014)

B. Ekosistem Nyamuk (dalam kaitannya dengan filariasis)

1. Ekosistem Nyamuk di Perairan

a. Abiotik

1). Suhu perairan (*Controlling Factor*)

Suhu perairan merupakan salah satu *controlling factor* untuk kinerja osmotik dan osmoregulasi pada larva nyamuk. *Controlling factor* yang dimaksud di sini adalah faktor-faktor yang berperan sebagai pengendali kualitas air yang berpengaruh terhadap kinerja osmotik dan osmoregulasi pada larva nyamuk. Perubahan suhu dapat mempengaruhi laju metabolisme yang berdampak pada osmoregulasi. Amini *et al.* (2020) melaporkan bahwa suhu habitat larva *Culex* adalah 23-25,13°C. Sementara Medeiros-Sousa *et al.* (2020) melaporkan bahwa rentang suhu perairan habitat larva *Culex quinquefasciatus* adalah 11,8-28,8°C, rentang suhu perairan habitat larva *Culex chidesteri* adalah 18,9-24,7°C, dan rentang suhu perairan habitat larva *Culex dolosus* adalah 16,1-26,9°C.

2). Salinitas (*Masking Factor*)

Salinitas merupakan *masking factor* dari kinerja osmotik dan osmoregulasi pada larva nyamuk. *Masking factor* adalah faktor lingkungan yang merubah atau menghambat bekerjanya faktor lain, dalam hal ini kinerja osmotik dan osmoregulasi. Salinitas juga dapat mempengaruhi pemilihan lokasi perkembangbiakan dan oviposisi. Medeiros-Sousa *et al.* (2020) melaporkan bahwa larva *Culex quinquefasciatus* ditemukan pada rentang salinitas <0,01-2,05 PSU, larva *Culex chidesteri* ditemukan pada rentang salinitas 0,02-0,08 PSU, dan larva *Culex dolosus* ditemukan pada rentang salinitas 0,02-2,05 PSU.

3). Turbiditas

Amini *et al.* (2020) melaporkan hasil pengamatannya bahwa turbiditas pada habitat larva *Culex* adalah 1,5-3,73 NTU. Perkembangan larva nyamuk di air keruh tampaknya dimungkinkan berkat adanya bakteri dan bahan organik yang dapat berfungsi sebagai sumber makanan (Hery *et al.*, 2021).

4). pH (*Directive Factor*)

pH merupakan salah satu *directive factor* dari kinerja osmotik dan osmoregulasi pada larva nyamuk. *Directive factor* pada osmoregulasi larva nyamuk dalam hal ini adalah faktor lingkungan yang memicu atau mengarahkan gerakan, respon, atau aktivitas larva nyamuk untuk beradaptasi dengan perubahan lingkungan, khususnya terkait dengan keseimbangan air dan garam dalam tubuh mereka. Contohnya, pH air setempat akan mempengaruhi pola migrasi larva nyamuk ke tempat lain untuk mencari kondisi yang lebih sesuai atau dapat tertangani oleh kemampuan osmoregulasinya. Tallan & Mau (2016) dalam penelitiannya mendapati larva *Culex* sp. dapat tumbuh optimum pada rentang pH

7,2-7,7. Deme *et al.* (2017) membuktikan bahwa larva *Culex* sp. dapat bertahan pada berbagai variasi pH bahkan pada air yang tercemar. Adapun hasil penelitian Ukubuiwe *et al.* (2020) menunjukkan bahwa pH yang baik untuk pertumbuhan larva *Culex quinquefasciatus* adalah 5-8 dengan kesadahan 0-90 mg/L CaCO₃, adapun pH 4 dan 10 serta kesadahan tinggi ≥ 150 mg/L CaCO₃ akan menghambat pertumbuhan larva. Pengamatan Amini *et al.* (2020) menunjukkan pH habitat larva *Culex* adalah 7-7,31. Medeiros-Sousa *et al.* (2020) melaporkan bahwa rentang pH habitat larva *Culex quinquefasciatus* adalah 4,4-8,2, rentang pH habitat larva *Culex chidesteri* adalah 6,2-7,4, dan rentang pH habitat larva *Culex dolosus* adalah 5,9-9,1.

5). Tingkat pencemaran

Ghosh *et al.* (2020) melaporkan bahwa terjadi peningkatan kepadatan larva nyamuk pada tahun kedua pengamatan yang mana terdapat perbedaan kualitas perairan habitat larva menjadi lebih tercemar akibat makin meningkatnya aktivitas industri di sekitar lokasi pengamatan. Perairan yang mengalami pencemaran akan mengalami penurunan DO (*dissolved oxygen*) dan larva nyamuk memang dapat bertahan pada DO rendah sementara tidak semua predatornya dapat bertahan pada DO rendah (Deme *et al.*, 2017). Namun cemaran logam dan logam berat seperti besi (Fe), tembaga (Cu) dan seng (Zn) dapat menghambat penetasan telur nyamuk dan juga merusak matriks peritrofik larva nyamuk yang dapat mengakibatkan penghambatan perkembangan larva nyamuk bahkan kematian (Hery *et al.*, 2021).

6). Banjir Rob

Banjir rob merupakan fenomena alam berupa banjir di dataran rendah pesisir, dimana volume air yang besar datang dari laut pada saat air pasang. Ciri-

ciri banjir rob antara lain: (a) terjadi pada saat air pasang, terutama pada saat pasang purnama (*spring tide*) atau *perigee* (dimana posisi Bulan, Bumi, dan Matahari berada dalam satu garis lurus), (b) warna airnya tidak keruh, (c) rasanya asin atau sedikit asin (salinitas lebih dari 2 bagian per juta), (d) terjadi baik pada musim hujan dan kemarau, dan (e) sering terjadi di daerah dataran rendah dalam pengaruh pasang surut laut (Puryono *et al.*, 2019).

b. Biotik

1). Osmoregulasi larva nyamuk

Osmoregulasi merupakan suatu bentuk dari sistem homeostasis. Homeostasis adalah suatu proses yang dilakukan suatu organisme untuk mempertahankan susunan dan kondisi internalnya agar tetap dalam keadaan stabil, sehingga memungkinkan untuk terselenggarakannya aktifitas fisiologi di dalam tubuh. Proses ini berperan penting dalam mengatur kemantapan keseimbangan osmotik antara cairan internal sel (CIS) dan cairan ekstrasel tubuh organisme air. Tingkat kerja osmotik adalah selisih atau rentang osmolaritas haemolymph dengan osmolaritas media yang harus diseimbangkan biota akuatik melalui mekanisme proses osmoregulasi. Selain menyeimbangkan tekanan osmotik, osmoregulasi merupakan mekanisme yang dilakukan oleh organisme yang hidup di air untuk mengontrol keseimbangan ion-ion dalam tubuh dengan lingkungannya.

2). Kondisi mangrove

Daur hidup mangrove melibatkan beberapa tahap, yaitu:

- Pembungaan dan penyerbukan. Mangrove menghasilkan bunga yang diserbuki oleh angin, serangga, atau burung.

- Pembentukan Buah. Setelah penyerbukan, bunga mangrove berkembang menjadi buah yang mengandung biji atau propagul.
- Dispersi Buah/Propagul. Buah atau propagul mangrove jatuh ke air dan terbawa oleh arus pasang surut atau gelombang laut.
- Pendaratan dan penanaman. Propagul yang terbawa arus akhirnya mendarat di daerah yang cocok, seperti tanah berlumpur di tepi pantai.
- Pertumbuhan bibit. Bibit mangrove mulai tumbuh dengan mengembangkan sistem perakaran yang kuat untuk menahan gelombang dan erosi tanah.
- Maturasi. Pohon muda berkembang menjadi pohon dewasa yang mampu menghasilkan bunga dan buah, memulai daur hidup baru (Saru, 2019).

Habitat mangrove kaya akan permukaan detritus dan tinggi kandungan tanah organik yang menjadi makanan larva nyamuk. Oleh karenanya kawasan mangrove menjadi habitat yang baik untuk perkembangan larva nyamuk. Beberapa penelitian di Indonesia menunjukkan kaitan antara kondisi kawasan mangrove dengan kepadatan populasi nyamuk serta kejadian penyakit yang disebarkan oleh nyamuk. Penelitian Masela (2012) menunjukkan bahwa komposisi dan kerapatan mangrove terbukti berhubungan dengan kepadatan nyamuk, dimana kawasan mangrove dengan komposisi yang lebih homogen (karena banyak mengalami penebangan) dan kurang rapat akan memiliki kepadatan nyamuk yang lebih tinggi. Penelitian Putra *et al.* (2015) menunjukkan bahwa setiap luas hutan mangrove bertambah 1 m², risiko malaria turun 1,001 kali; dan setiap kerapatan vegetasi mangrove bertambah 1 populasi/Ha, risiko malaria menurun 1,18 kali. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa semakin luas dan rapat hutan mangrove, risiko

kejadian malaria semakin rendah; dan semakin jauh pemukiman dari hutan mangrove, risiko kejadian malaria semakin rendah pula. Kawasan mangrove dengan kualitas yang baik akan menjadi habitat yang baik untuk larva nyamuk namun juga menjadi habitat yang baik untuk predator larva nyamuk. Dengan demikian jumlah larva nyamuk akan terkendali oleh predatornya sehingga juga akan mengurangi kepadatan nyamuk dewasa. Adapun penelitian Wigaty *et al.* (2016) menunjukkan temuan bahwa semakin luas hutan mangrove akan meningkatkan jumlah kasus malaria dan setiap penambahan 1% luas rawa akan menurunkan 0,12638 jumlah kejadian malaria per 1000 penduduk. Terdapat hasil temuan yang tidak sejalan antara hasil penelitian Putra *et al.* (2015) dengan hasil penelitian Wigaty *et al.* (2016). Keduanya sama-sama mengkaji kaitan antara kondisi hutan mangrove dengan kejadian malaria. Putra *et al.* (2015) menunjukkan bahwa makin luas hutan mangrove maka makin rendah risiko kejadian malaria, sedangkan Wigaty *et al.* (2016) justru sebaliknya. Namun yang perlu dicermati adalah bahwa pada penelitian jarak pemukiman dengan hutan mangrove yang diteliti sangatlah dekat sehingga memudahkan nyamuk untuk sampai ke pemukiman. Kondisi tersebut akan menjadi lebih buruk ketika hutan mangrove yang menjadi habitat nyamuk makin luas. Putra *et al.* (2015) mengkonfirmasi bahwa hutan mangrove menjadi habitat nyamuk dan daerah jelajah nyamuk khususnya *Anopheles* sp. hanya di dalam dan sekitar hutan mangrove saja sehingga kawasan penduduk akan aman dari serangan nyamuk tersebut pada radius jarak tertentu. Kondisi kawasan mangrove yang baik akan menjadi habitat yang baik untuk larva dan nyamuk dewasa. Jika kawasan mangrove sangat luas sementara radius terbang

nyamuk terbatas maka nyamuk hanya akan terbang di kawasan mangrove saja dan tidak terbang ke pemukiman (Siwiendrayanti *et al.*, 2020b).

Beberapa penelitian di negara lain juga menunjukkan kaitan antara kondisi kawasan mangrove dengan kepadatan populasi nyamuk. Ismail *et al.* (2018) melaporkan hasil penelitiannya bahwa area mangrove yang tidak terganggu oleh aktivitas manusia memiliki kepadatan nyamuk yang lebih tinggi dan pola menggigit nyamuknya adalah hanya pada fajar dan senja hari saja, adapun area mangrove yang terganggu oleh manusia memiliki kepadatan nyamuk yang lebih rendah namun pola menggigit nyamuknya tak beraturan sepanjang hari. Tiap spesies nyamuk memiliki pola perilaku spesifik dalam beristirahat (*resting*), menggigit (*biting*), meletakkan telur, dan lain sebagainya (WHO, 2013b). Pola menggigit di waktu tertentu saja pada area mangrove tak terganggu manusia menunjukkan bahwa nyamuk pada area tersebut terdiri atas spesies yang sama. Pola menggigit yang tak beraturan sepanjang hari pada area mangrove yang terganggu manusia menunjukkan bahwa nyamuk pada area tersebut terdiri atas banyak spesies yang berbeda. Area dengan banyak jenis spesies nyamuk dan pola menggigit tak beraturan sepanjang hari akan lebih sulit untuk dikendalikan (Siwiendrayanti *et al.*, 2020a). Adapun de Souza *et al.* (2012) mendapatkan hasil penelitian yang serupa dengan Ismail *et al.* (2018) bahwa area mangrove rusak memiliki kondisi yang lebih sulit dimana nyamuk yang tertangkap pada area mangrove baik adalah dari spesies *Wyeomyia*, sementara nyamuk yang tertangkap pada area mangrove rusak adalah dari spesies *Aedes*. *Wyeomyia* diketahui tidak berkaitan dengan penyakit pada manusia meskipun beberapa studi menemukan kandungan virus dalam nyamuk ini, sedangkan *Aedes*

diketahui berkaitan dengan penyakit manusia seperti demam dengue, demam kuning, chikungunya, dan filariasis (Walter Reed Biosystematics Unit, 2021).

3). Keberadaan predator larva nyamuk

Siwiendrayanti *et al.* (2021) melaporkan hasil pengamatan terhadap *breeding place* yang tanpa dan yang ditemukan larva *Culex* yang mana pada *breeding place* yang terdapat predator tidak ditemukan keberadaan larva *Culex*, sementara pada *breeding place* tanpa predator ditemukan keberadaan larva *Culex*.

c. Community (Manusia)

Perilaku manusia dalam mengelola lingkungan perairan dapat memberikan kontribusi pada penularan filariasis. Kurangnya perhatian dan tindakan manusia dalam mengelola lingkungan perairan dapat mengakibatkan diantaranya tidak mengalirnya selokan, rusaknya kawasan mangrove, dan makin parahnya banjir rob (Ilman *et al.*, 2016).

2. Ekosistem Nyamuk di Daratan

a. Abiotik

1). Suhu udara

Suhu udara sangat mempengaruhi siklus hidup nyamuk yaitu pada proses metabolisme dan siklus hidup nyamuk. Semakin tinggi suhu (sampai batas tertentu) semakin pendek masa inkubasi ekstrinsik, dan semakin rendah suhu masa inkubasi ekstrinsik semakin panjang. Kondisi lingkungan (pada skala laboratorium) yang mendukung pertumbuhan telur sampai dewasa adalah suhu 27⁰C. Pertumbuhan nyamuk akan berhenti ketika di luar rentang suhu 10⁰C - 40⁰C.

2). Kelembaban udara

Kelembaban udara adalah jumlah uap air yang terkandung dalam udara dan disebutkan dalam satuan persen (%). Kondisi lingkungan (pada skala laboratorium)

yang mendukung pertumbuhan telur sampai dewasa adalah kelembaban udara 80%. Daya penguapan akan menjadi besar apabila jumlah uap air yang terkandung dalam udara mengalami kekurangan yang besar. Kelembaban rendah menyebabkan penguapan air dalam tubuh. Salah satu musuh nyamuk adalah penguapan. Kelembaban mempengaruhi umur nyamuk, jarak terbang, kecepatan berkembang biak, kebiasaan menggigit, istirahat, dan lain-lain.

3). Keberadaan *breeding place*

Nyamuk membutuhkan genangan air atau perairan untuk melakukan *breeding*. Pada genangan air atau perairan inilah fase telur dan larva berkembang. Beberapa penelitian menunjukkan keterkaitan antara keberadaan *breeding place* dengan kejadian filariasis, diantaranya penelitian (Nurjazuli & Santjaka, 2020; Windiastuti *et al.*, 2013).

b. Biotik

1). Perubahan perilaku nyamuk

Medeiros-Sousa *et al.* (2020) melaporkan bahwa fase larva dari nyamuk *Aedes* memiliki kemampuan yang lebih tinggi dalam bertahan pada berbagai variasi parameter kualitas perairan habitatnya dibandingkan dengan larva *Culex* dan larva *Anopheles*.

2). Keberadaan semak/tumbuhan tempat *resting* nyamuk

Nyamuk menyukai tempat yang lembab dan teduh sebagai *resting place*. Nyamuk melakukan *resting* saat beristirahat menunggu waktu aktif menggigitnya atau setelah nyamuk menggigit dan kenyang darah. Semak atau kumpulan tumbuhan yang rimbun memiliki kriteria tersebut. Penelitian Siwiendrayanti *et al.*

(2020) menunjukkan keterkaitan keberadaan semak dengan kejadian filariasis di Kota Pekalongan, Jawa Tengah.

3). Keberadaan ternak

Beberapa spesies nyamuk lebih menyukai menghisap darah hewan daripada darah manusia. Beberapa jenis yang lain menyukai keduanya, baik darah manusia maupun darah hewan. Feses dan urin ternak yang tidak terurus juga dapat menjadi atraktan bagi nyamuk. Keberadaan kandang ternak yang terlalu dekat dengan rumah dapat menarik datangnya nyamuk dan memperbesar risiko penularan filariasis. Hal tersebut dibuktikan dalam penelitian Wulandhari & Pawenang (2017) dan Siwiendrayanti *et al.* (2020) (Siwiendrayanti *et al.*, 2020; Wulandhari & Pawenang, 2017).

c. *Community* (Manusia)

1). Cakupan POPM (Pemberian Obat Pencegahan Massal) Filariasis

POPM (Pemberian Obat Pencegah Massal) Filariasis adalah pemberian obat kepada semua penduduk di daerah endemis filariasis (Mf-rate >1%). Seseorang dapat saja sudah terdapat mikrofilaria di dalam tubuhnya namun belum memunculkan gejala, tanda, dan keluhan apapun namun sudah dapat menjadi sumber penular. Dengan meminum obat tersebut diharapkan mikrofilaria yang berada dalam tubuh warga dapat dimatikan sehingga tidak menjadi sumber penularan filariasis ke orang lain. Cakupan POPM yang rendah dapat menghambat ketercapaian eliminasi filariasis (WHO, 2013a).

2). Perilaku masyarakat dalam pencegahan filariasis

Perilaku masyarakat dapat berpengaruh terhadap penularan filariasis. Perilaku tersebut diantaranya berupa keikutsertaan pada POPM, menghindari

gigitan nyamuk, dan perilaku pengendalian lingkungan. Menghindari gigitan nyamuk dapat berupa pemasangan kawat kassa pada ventilasi, penggunaan antinyamuk seperti obat nyamuk bakar dan repellent, menggunakan kelambu saat tidur, dan menghindari keluar pada malam hari tanpa pakaian panjang. Pengendalian lingkungan dapat berupa aktivitas kerjabakti maupun aktivitas individual dalam mengontrol *breeding place* dan *resting place*. Selain itu, pengetahuan akan penularan filariasis juga akan mempengaruhi kewaspadaan masyarakat akan filariasis dan mendorongnya untuk melaksanakan upaya-upaya pencegahan (Juwita *et al.*, 2020; Siwiendrayanti *et al.*, 2017; Siwiendrayanti *et al.*, 2019; Windiastuti *et al.*, 2013).

C. Pengendalian Vektor Nyamuk

1. Pengendalian Vektor Nyamuk Konvensional

Salah satu pengendalian yang dapat dilakukan adalah menghilangkan habitat air yang cocok untuk pengembangan larva nyamuk, atau memodifikasi habitat air sehingga tidak lagi cocok untuk pengembangan larva, proses ini disebut reduksi sumber. Efek jangka panjang dari reduksi sumber adalah untuk mengurangi kepadatan vektor sehingga berpengaruh pada laju menggigit tahunan dan potensi penularan tahunan.

Cara kedua pengendalian vektor nyamuk adalah dengan menggunakan bahan kimiawi, baik untuk membunuh larva maupun nyamuk dewasa. Teknologi ini telah dikembangkan dengan baik, dengan beragam insektisida yang tersedia seperti dengan membentuk minyak pada permukaan, insektisida organofosfat, pengatur pertumbuhan serangga seperti methoprene dalam pelepasan

berkelanjutan, dan formulasi insektisida berbasis bakteri seperti *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) dan *Bacillus sphaericus* (WHO, 2013b).

2. Metode pengendalian vektor yang direkomendasikan WHO dalam eliminasi filariasis

a. Metode pengendalian nyamuk dewasa

WHO merekomendasikan metode pengendalian nyamuk dewasa seperti tersaji pada Tabel 2.4. *Long-lasting insecticidal nets (LLIN)* adalah jaring atau kelambu yang telah direndam dalam insektisida. *Insecticide-treated curtains and wall linings* adalah tirai/gorden dan pelapis dinding yang telah dicelup/direndam dalam larutan insektisida. *Indoor residual spraying (IRS)* adalah upaya penyemprotan insektisida di dalam area rumah. Insektisida yang biasa digunakan adalah dari golongan *organophosphate*, *carbamate*, *organochlorine*, dan *pyrethroid*. *House screening* dapat berupa kawat kassa yang biasanya digunakan untuk mengendalikan populasi *Anopheles* dan *Aedes*. Biasa dipasang di jendela, pintu, ventilasi, dan lubang-lubang di atap. *Household insecticide* merupakan semprotan aerosol insektisida yang dijual komersial dan dapat dibeli secara bebas oleh masyarakat. Penyemprotan dilakukan dalam ruangan yang telah tertutup (jendela dan pintu). *Repellent* merupakan anti-nyamuk yang diaplikasikan ke permukaan kulit agar nyamuk tidak datang untuk menggigit, dapat berupa krim, lotion, dan cairan semprot. *Coil* / obat nyamuk bakar relatif murah, terbakar perlahan sehingga dapat melepaskan senyawa insektisida dalam 6-8 jam. *Vaporizing mats* / obat nyamuk elektrik konsepnya mirip dengan *coil* namun menggunakan energi listrik untuk menghasilkan panas yang akan mengakibatkan terlepaskannya senyawa insektisida ke udara (WHO, 2013a).

Tabel 2.2. Metode utama pengendalian nyamuk dewasa berdasar genus

Method	<i>Anopheles</i>	<i>Culex</i>	<i>Aedes</i>	<i>Mansonia</i>
Long-lasting insectidal nets	v	v	v	v
Insecticide-treated curtains and wall linings	v	v	v	
Indoor residual spraying	v			
Space spraying			v	
House screening	v	v	v	v
Household insecticides	v	v	v	v
Repellents, coils, vaporizing mats	v	v	v	v

Sumber: WHO, 2013a

b. Metode pengendalian larva nyamuk

Mengurangi populasi nyamuk dengan mengurangi keberadaan tempat-tempat yang dapat menjadi *breeding place* merupakan langkah awal *environmental management* / pengelolaan lingkungan dalam pengendalian vektor nyamuk. Pengendalian larva dengan cara ini kurang efektif di daerah dengan tempat perkembangbiakan yang luas, seperti skala sawah beririgasi atau dataran banjir sungai-sungai besar. Karena pengendalian larva membutuhkan keterlibatan masyarakat, strategi mobilisasi sosial harus informatif. Berbagai metode pengendalian larva tercantum dalam Tabel 2.5 (WHO, 2013a).

Tabel 2.3. Metode pengendalian larva nyamuk berdasarkan genus

Method	<i>Anopheles</i>	<i>Culex</i>	<i>Aedes</i>	<i>Mansonia</i>
Environmental management	Filling mosquito breeding sites	V	V	
	Draining mosquito breeding sites	V	V	
	Water level fluktuation	V		
	Elimination and modification of breeding sites	V	V	
	Removal of water plants and vegetation			V
	Use of expanded polystyrene beads in closed sites, such as pit or soakage latrines	V		
Larvacides	Insecticides	V	V	V
	Mosquito larvacidal oils	V	V	
	Insect growth regulators	V		
	Microbial larvacides (<i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>israeliensis</i> , <i>B. sphaericus</i>)	V	V	

Sumber: WHO, 2013a

Larvaciding adalah membunuh larva dengan bahan kimia ataupun biologi. Dapat dilakukan dengan pemberian insektisida pada genangan air seperti jenis *organophosphate* dan *temephos* (*Abate*). Dapat juga dilakukan dengan memberikan *larvacidal oil* ke dalam perairan yang akan membentuk lapisan minyak tipis di permukaan air. *Insect growth regulators* juga dapat digunakan dalam larvaciding yang mana cara kerjanya adalah meniru atau menghambat efek hormon serangga, seperti hormon remaja, atau menghambat pembentukan kerangka serangga, sehingga mencegah perkembangan normal tahap larva dan dewasa. Contohnya adalah *methoprene* dan *pyriproxifen*. Selain itu *microbial larvicides* juga dapat digunakan, seperti *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* dan *B. sphaericus*. Metode larvaciding ini memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihannya adalah larva nyamuk mati sebelum mencapai stadium dewasa, dapat dilakukan dengan cepat, banyak larvasida yang efektif tersedia di pasaran, larvasida dapat diaplikasikan dengan tangan atau dalam skala besar dengan penyemprot pertanian dan pompa semprotan tangan. Sedangkan kekurangannya diantaranya adalah lebih mahal karena larvasida memberikan kontrol sementara dan harus diulang-ulang, beberapa larvasida membahayakan organisme lain, termasuk musuh alami larva nyamuk, serta larvasida mungkin beracun bagi manusia (WHO, 2013a)

D. Pesisir

Wilayah Pesisir adalah daerah peralihan antara ekosistem darat dan laut yang dipengaruhi oleh perubahan di darat dan laut. Perairan Pesisir adalah laut yang berbatasan dengan daratan meliputi perairan sejauh 12 mil laut diukur dari garis

pantai, perairan yang menghubungkan pantai dan pulau-pulau, estuari, teluk, perairan dangkal, rawa payau, dan laguna. Garis pantai adalah garis pertemuan antara daratan dengan lautan yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut (Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2014).

Wilayah pesisir memiliki batas-batas ekologis sebagai berikut:

- Ke arah laut, merupakan wilayah perairan paparan benua (*continental shelf*), sampai batas terjauh pengaruh proses alami di daratan ke laut (sedimen, aliran air tawar) dihitung dari garis pantai saat surut terendah, serta daerah laut yang dipengaruhi oleh kegiatan manusia di daratan.
- Ke arah darat, mencakup wilayah daratan yang masih terkena pengaruh hidroklimat laut (pasang-surut, intrusi air asin, angin laut).

Pengaturan pesisir dalam tata ruang diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 21 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Penataan Ruang. Pemanfaatan dan pengelolaan pesisir diantaranya disebutkan dalam Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja dan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup serta dalam Undang-Undang Nomor 1 Tahun 2014 tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (Peraturan Pemerintah Nomor 21 Tahun 2021; Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021; Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Republik Indonesia No. 2 Tahun 2022).

E. Model Risiko

Model risiko memiliki rumus sebagai berikut.

$$R = \frac{H \cdot V}{C}$$

Keterangan:

R = *Risk* / risiko

H = *Hazard* / ancaman

V = *Vulnerability* / kerentanan

C = *Capacity* / kemampuan

Risiko (*risk*) adalah probabilitas timbulnya konsekuensi yang merusak atau kerugian yang sudah diperkirakan (kematian, cedera kerugian harta benda, penghidupan dan aktivitas ekonomi, atau rusaknya lingkungan) yang diakibatkan oleh adanya interaksi antara ancaman yang ditimbulkan alam atau diakibatkan manusia serta kondisi yang rentan. Ancaman (*hazard*) adalah kejadian yang berpotensi mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat sehingga menyebabkan timbulnya korban jiwa, kerusakan harta benda, kehilangan rasa aman, kelompok ekonomi dan kerusakan lingkungan serta dampak psikologis. Kerentanan (*vulnerability*) adalah suatu kondisi yang ditentukan oleh faktor – faktor fisik, sosial, ekonomi, geografi yang mengakibatkan menurunnya kemampuan masyarakat dalam menghadapi ancaman. Kapasitas (*capacity*) adalah kemampuan sumber daya yang dimiliki tiap orang atau kelompok di suatu wilayah yang dapat digunakan dan ditingkatkan untuk mengurangi resiko bencana. Kemampuan ini dapat berupa pencegahan, mengurangi dampak, kesiapsiagaan dan keterampilan mempertahankan hidup dalam situasi darurat. Prinsip dasar mengurangi besarnya risiko adalah dengan memperkecil ancaman dan kerentanan, serta memperbesar kapasitas (Husein & Onasis, 2017).